



## 저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

도시계획학 석사학위논문

확률과정 기반의  
버스 통행시간 정보 생성 방법 연구

A Study on Bus Travel Time Estimation  
Based on Simplified Stochastic Process

2014년 2월

서울대학교 환경대학원

환경계획학과 교통관리전공

안 수 연

# 확률과정 기반의 버스 통행시간 정보 생성방법 연구

지도교수 이 영 인

이 논문을 도시계획학 석사학위 논문으로 제출함  
2013년 10월

서울대학교 대학원  
환경계획학과 교통관리전공  
안 수 연

안수연의 도시계획학 석사학위 논문을 인준함  
2013년 12월

위 원 장 \_\_\_\_\_ (인)

부위원장 \_\_\_\_\_ (인)

위 원 \_\_\_\_\_ (인)

## 국 문 초 록

버스 이용자가 기대하는 정보의 종류는 정류장에서의 대기시간과 목적지 까지 소요되는 시간으로 나누어 볼 수 있다. 정류장에서의 대기시간 정보는 현재 버스정보시스템(BIS)을 통해 실시간으로 제공되고 있다. 반면 목적지까지의 예상소요시간 정보는 실시간으로 제공되지 않고 있으며, 보편적으로 제공되고 있는 정보는 평일 첨두시 기준 통행시간인 정적정보에 그치고 있는 실정이다. 그러나 최근 스마트폰 이용자의 급증으로 개인 맞춤형 정보가 요구되고 있으며 통행의 계획과 수단 선택에 있어서 예상 통행시간 정보는 필히 요구되는 바, 본 연구에서는 BIS 이력자료와 확률과정을 기반으로 버스 운행시간대에 따른 확률적 버스 통행시간 예측을 실시하였다.

적용대상은 인천 간선버스 79번의 상행노선으로 대상의 구분을 공간기준 6개, 시간기준 4개, 총 24개 Case로 분류하고 각각에 대하여 분석을 실시하였다. 예측결과의 정확도 평가를 위하여 평균절대백분율오차(MAPE)를 사용하였고, 계절성 ARIMA모형, 이력자료의 평균값, 그리고 포털사이트에서 제공하는 통행시간의 예측결과와 비교 하였다. 그 결과 보편적인 경우에는 예측방법에 따른 결과의 정확도에 큰 차이가 없었으나, 돌발상황 발생시, 강수일, 휴일 등 관측된 통행시간과 이력자료평균간의 편차가 심한 경우에 확률과정 기반의 예측이 오차율이 낮게 나타났다. 또한 통행속도의 조절이 자유로운 구간의 통행시간 예측에 적합한 것으로 분석되었다. 이는 버스 정시성 유지로 인해 수반되는 통행시간 예측의 어려움을 극복한 것으로 해석할 수 있으며, 따라서 확률과정 기반의 예측결과는 노선 전 구간, 전 시간대에 통행시간정보의 형평성을 확보하였다고 볼 수 있다.

본 예측 방법은 독립변수를 필요로 하지 않는 비모수적 방법으로 예측을 위한 변수의 설정이나 모형의 개발 및 모수의 갱신이 요구되지 않는다는 장점이 있으며 노선 전 구간에 걸친 버스정보 정확도의 형평성을

확보하고 있어 시스템 적용이 용이하고 정확도가 높은 예측방법이라는 점을 시사하고 있다. 그러나 시간처짐현상의 발생과 첫차의 통행시간 예측 불가능이라는 구조적인 문제와 예측에 사용하는 이력자료의 최적의 개수 정의는 이 연구의 한계로 남았다.

◆ 주요어 : 버스통행시간, 확률과정, 버스정보시스템, BIS 이력정보

◆ 학 번 : 2012-22043

# 목 차

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 제1장 서론 .....                       | 1  |
| 제1절 연구의 배경 및 목적 .....              | 1  |
| 제2절 연구의 방법 및 구성 .....              | 3  |
| 제2장 이론적 배경과 선행 연구 고찰 .....         | 5  |
| 제1절 이론적 배경 .....                   | 5  |
| 1. 버스정보관리시스템의 개념 및 기본 원리 .....     | 5  |
| 2. 통행시간 예측기법 .....                 | 7  |
| 3. 확률과정 .....                      | 15 |
| 제2절 선행연구 고찰 .....                  | 17 |
| 1. 버스 정류장 대기시간 예측관련 연구 .....       | 17 |
| 2. 통행시간 예측관련 연구 .....              | 17 |
| 3. 버스 통행시간 예측관련 연구 .....           | 18 |
| 제3절 선행연구의 시사점 .....                | 20 |
| 제3장 버스 통행시간 예측 방법론 .....           | 21 |
| 제1절 개요 .....                       | 21 |
| 제2절 BIS 장기 이력자료 기반 사전자료 작성 .....   | 22 |
| 1. 시간단위 설정 .....                   | 22 |
| 2. BIS 장기 이력자료 기반 통행시간 자료 구축 ..... | 23 |

|                                  |        |
|----------------------------------|--------|
| 제3절 BIS 단기 이력자료 기반 통행시간 예측 ..... | 27     |
| 1. 관측일 통행완료 자료 수집 .....          | 27     |
| 2. 확률적 통행시간 예측 수행 .....          | 28     |
| 제4절 예측 통행시간 평가 .....             | 30     |
| <br>제4장 방법론 적용 및 평가 .....        | <br>32 |
| 제1절 자료의 수집 .....                 | 32     |
| 1. 분석대상 선정 .....                 | 32     |
| 2. 기초자료 구축 .....                 | 33     |
| 3. 시나리오 설정 .....                 | 35     |
| 제2절 통행시간 예측 및 평가 .....           | 36     |
| 1. 확률적 통행시간 예측방법 적용 .....        | 36     |
| 2. 예측 통행시간 평가 .....              | 37     |
| <br>제5장 결론 .....                 | <br>62 |
| 제1절 결론 및 종합적 해석 .....            | 62     |
| 제2절 한계점 및 향후 연구 과제 .....         | 63     |
| <br>참고문헌 .....                   | <br>65 |
| 부록A .....                        | 67     |
| 부록B .....                        | 91     |

## 표 목 차

|  |    |
|--|----|
| [표 4-1] 분석대상 구간 정보 .....                             | 32 |
| [표 4-2] 요일간 군집분석 결과 .....                            | 35 |
| [표 4-3] 월간 군집분석 결과(장거리) .....                        | 35 |
| [표 4-4] 분석 시나리오 설정 .....                             | 35 |
| [표 4-5] 단거리(안동포교회-서해아파트), Case1의 예상 통행시간 검증 .....    | 37 |
| [표 4-6] 단거리(서해아파트-오조산공원), Case1의 예상 통행시간 검증 .....    | 38 |
| [표 4-7] 단거리(오조산공원-부개성일아파트), Case1의 예상 통행시간 검증 .....  | 39 |
| [표 4-8] 중거리(안동포교회-공촌정수장), Case1의 예상 통행시간 검증 .....    | 40 |
| [표 4-9] 중거리(공촌정수장-부개성일아파트), Case1의 예상 통행시간 검증 .....  | 41 |
| [표 4-10] 장거리(안동포교회-부개성일아파트), Case1의 예상 통행시간 검증 ..... | 42 |
| [표 4-11] 단거리(안동포교회-서해아파트), Case2의 예상 통행시간 검증 .....   | 43 |
| [표 4-12] 사용 이력자료 수 에 따른 MAPE(%) .....                | 45 |
| [표 4-13] 단거리(서해아파트-오조산공원), Case2의 예상 통행시간 검증 .....   | 45 |
| [표 4-14] 단거리(오조산공원-부개성일아파트), Case2의 예상 통행시간 검증 ..... | 46 |
| [표 4-15] 중거리(안동포교회-공촌정수장), Case2의 예상 통행시간 검증 .....   | 47 |
| [표 4-16] 중거리(공촌정수장-부개성일아파트), Case2의 예상 통행시간 검증 ..... | 48 |
| [표 4-17] 장거리(안동포교회-부개성일아파트), Case2의 예상 통행시간 검증 ..... | 49 |
| [표 4-18] 단거리(안동포교회-서해아파트), Case3의 예상 통행시간 검증 .....   | 50 |
| [표 4-19] 단거리(서해아파트-오조산공원), Case3의 예상 통행시간 검증 .....   | 51 |
| [표 4-20] 단거리(오조산공원-부개성일아파트), Case3의 예상 통행시간 검증 ..... | 52 |
| [표 4-21] 중거리(안동포교회-공촌정수장), Case3의 예상 통행시간 검증 .....   | 53 |
| [표 4-22] 중거리(공촌정수장-부개성일아파트), Case3의 예상 통행시간 검증 ..... | 54 |
| [표 4-23] 장거리(안동포교회-부개성일아파트), Case3의 예상 통행시간 검증 ..... | 55 |



|  |    |
|--|----|
| [표 4-24] 단거리(안동포교회-서해아파트), Case4의 예상 통행시간 검증 ..... | 56 |
| [표 4-25] 단거리(서해아파트-오조산공원), Case4의 예상 통행시간 검증 ..... | 57 |
| [표 4-26] 단거리(오조산공원-부개성일아파트), Case4의 예상 통행시간 검증 ..  | 58 |
| [표 4-27] 중거리(안동포교회-공촌정수장), Case4의 예상 통행시간 검증 ..... | 59 |
| [표 4-28] 중거리(공촌정수장-부개성일아파트), Case4의 예상 통행시간 검증 ..  | 60 |
| [표 4-29] 장거리(안동포교회-부개성일아파트), Case4의 예상 통행시간 검증 ..  | 61 |

## 그 립 목 차

|   |    |
|---|----|
| <그림 1-1> 연구흐름도 .....                                | 4  |
| <그림 2-1> 버스정보시스템의 기본 원리 개념도 .....                   | 6  |
| <그림 2-2> 버스정류장 도착예정시간 개념도 .....                     | 7  |
| <그림 2-3> 다층 퍼셉트론의 구조 .....                          | 12 |
| <그림 2-4> 회귀모형(a)과 비모수 회귀모형(b)의 구조 .....             | 13 |
| <그림 2-5> 확률과정의 개념도 .....                            | 16 |
| <그림 3-1> 방법론의 수행절차 .....                            | 21 |
| <그림 3-2> 한 개의 시간단위에 대한 통행시간 자료구축의 범위 .....          | 23 |
| <그림 3-3> 통행시간 자료(평일) 상자도표의 예 .....                  | 25 |
| <그림 3-4> 예측 구간에 따른 통행시간 자료(평일) 특성 .....             | 26 |
| <그림 3-5> 시간대별 통행시간 분포 및 누적분포 그래프(평일) 예 .....        | 26 |
| <그림 3-6> 시간처짐현상의 개념도 .....                          | 27 |
| <그림 4-1> 시간단위(S)별 통행시간 구축자료 예시(장거리) .....           | 33 |
| <그림 4-2> 단거리(안동포교회-서해아파트), Case1의 예측통행시간 그래프 .....  | 37 |
| <그림 4-3> 단거리(서해아파트-오조산공원), Case1의 예측통행시간 그래프 .....  | 38 |
| <그림 4-4> 단거리(오조산공원-부개성일아파트), Case1의 예측통행시간 그래프 ·    | 39 |
| <그림 4-5> 중거리(안동포교회-공촌정수장), Case1의 예측통행시간 그래프 .....  | 40 |
| <그림 4-6> 중거리(공촌정수장-부개성일아파트), Case1의 예측통행시간 그래프 ·    | 41 |
| <그림 4-7> 장거리(안동포교회-부개성일아파트), Case1의 예측통행시간 그래프 ·    | 42 |
| <그림 4-8> 단거리(안동포교회-서해아파트), Case2의 예측통행시간 그래프 .....  | 43 |
| <그림 4-9> 사용 이력자료 수 에 따른 확률과정기반 예측통행시간 그래프 .....     | 45 |
| <그림 4-10> 단거리(서해아파트-오조산공원), Case2의 예측통행시간 그래프 ..... | 45 |
| <그림 4-11> 단거리(오조산공원-부개성일아파트), Case2의 예측통행시간 그래프     | 46 |

|   |    |
|---|----|
| <그림 4-12> 중거리(안동포교회-공촌정수장), Case2의 예측통행시간 그래프 ..... | 47 |
| <그림 4-13> 중거리(공촌정수장-부개성일아파트), Case2의 예측통행시간 그래프     | 48 |
| <그림 4-14> 장거리(안동포교회-부개성일아파트), Case2의 예측통행시간 그래프     | 49 |
| <그림 4-15> 단거리(안동포교회-서해아파트), Case3의 예측통행시간 그래프 ..... | 50 |
| <그림 4-16> 단거리(서해아파트-오조산공원), Case3의 예측통행시간 그래프 ..... | 51 |
| <그림 4-17> 단거리(오조산공원-부개성일아파트), Case3의 예측통행시간 그래프     | 52 |
| <그림 4-18> 중거리(안동포교회-공촌정수장), Case3의 예측통행시간 그래프 ..... | 53 |
| <그림 4-19> 중거리(공촌정수장-부개성일아파트), Case3의 예측통행시간 그래프     | 54 |
| <그림 4-20> 장거리(안동포교회-부개성일아파트), Case3의 예측통행시간 그래프     | 55 |
| <그림 4-21> 단거리(안동포교회-서해아파트), Case4의 예측통행시간 그래프 ..... | 56 |
| <그림 4-22> 단거리(서해아파트-오조산공원), Case4의 예상 통행시간 그래프 .... | 57 |
| <그림 4-23> 단거리(오조산공원-부개성일아파트), Case4의 예측통행시간 그래프     | 58 |
| <그림 4-24> 중거리(안동포교회-공촌정수장), Case4의 예측통행시간 그래프 ..... | 59 |
| <그림 4-25> 중거리(공촌정수장-부개성일아파트), Case4의 예측통행시간 그래프     | 60 |
| <그림 4-26> 장거리(안동포교회-부개성일아파트), Case4의 예측통행시간 그래프     | 61 |

# 제1장 서론

## 제1절 연구의 배경 및 목적

국가 ITS 기본계획에 의한 대중교통정보는 버스정보제공, 버스운행 관리, 대중교통예약, 준대중교통이용지원 등 4가지 단위서비스로 분류된다. 각 단위서비스는 비약적으로 발전하고 있으며, 버스 도착시간정보와 배차간격 조정 등 다양한 서비스가 실시간으로 제공되고 있다.

대중교통 이용자가 기대하는 가장 기본적인 정보는 정류장 대기시간 정보(Arrival time)와 경로 통행시간 정보(Travel Time)이다. 정류장 대기시간 정보는 이용자가 통행수단을 기다리는 시간을 의미한다. 현재 대부분의 대중교통수단은 대기시간정보를 실시간으로 제공하고 있으며, 대기시간 예측방법의 연구가 활발하게 진행되고 있다. 경로 통행시간 정보는 출발지에서 목적지까지 예상통행시간을 의미한다. 이는 대중교통 이용자가 통행 전 출발시각과 수단선택, 통행 중 수단 변경, 목적지 도착 이후 계획 수립을 용이하게 하는 필수적인 정보이다.

현재 도시철도, 일반철도, 고속철도는 출발시각에 따른 예상 통행시간을 제공하고 있어 이용자가 환승과 통행시간을 고려하여 여행계획을 세우는 것이 가능하다. 반면에 버스는 통행시간 정보를 충분히 제공하고 있지 않다. 일부 지역 버스노선이 예상통행시간 정보를 제공하지만, 이는 통행 중에만 제공되는 즉각적이고 짧은 통행시간의 예측에 불과하다. 서울을 포함한 수도권처럼 교통체계가 복잡하고 광역화 되어있는 지역에서는 이러한 통행시간의 예측마저 어려운 실정이다.

또한 대중교통의 기본원칙인 정시성<sup>1)</sup> 확보 측면에서 볼 때, 버스 통

---

1) 고승영(2005)에 의하면 버스의 정시성은 버스 운행계획 수립시 (1)시점 기준의 출발시각만 제공되는 점, (2)운행버스 노선들의 평균 배차 간격이 10분 이내인 점, (3)정류소 단위 스케줄이 부재인 점을 고려하였을 때 버스정류장으로의 도착성 보다는 차두간격의 균등성으로 보는 것이 적절하다.

행시간 예측은 더욱 어렵다. 버스 운전자는 앞·뒤 차간간격을 균등하게 유지하기 위해 버스의 속도를 조절해 가며 운행하기 때문에, 동일 구간을 통행하는 버스라도 통행시간은 버스의 운행시각과 교통소통상황에 따라 동적으로 변화한다. 따라서 정시성을 확보하면서 통행시간을 정확하게 예측하는 것은 쉽지 않다.

버스 수송 분담률은 대중교통 수송 분담률의 약 70%<sup>2)</sup>를 차지할 정도로 이용 빈도가 높고, 그 범위가 넓은 주요대중교통 수단이다. 따라서 버스의 통행시간 정보는 대중교통 이용자 다수의 이용편의 증진을 위해서 꼭 필요한 정보라고 할 수 있다.

또한 최근 스마트폰 보급의 확장에 따라 개인 맞춤형정보제공의 필요성이 강조되면서 개인별 맞춤형 실시간 교통정보의 요구는 더욱 커지고 있다. 일부 포털사이트와 어플리케이션에서 제공하고 있는 예상 버스통행시간 정보는 통행시간 이력자료의 평균값(Historical Average)을 이용한 정보로서, 실시간 교통상황을 반영한 통행시간 예측 정보가 아니다. 그래서 이용자에게 잘못된 통행시간 정보를 제공할 가능성이 크며, 교통상황을 반영한 실시간 개인 맞춤형 버스통행시간정보와는 거리가 멀다고 할 수 있다.

이에 본 연구는 다음과 같은 목적을 두고 연구를 수행하고자 한다.

첫째, 출발 시간대에 따라 예상 통행시간 정보를 동적으로 제공한다. 그리하여 이용자로 하여금 통행전 수단 및 출발시각 선택을 용이하게 하고, 타 수단으로 환승이 필요한 경우, 환승을 위한 대기시간을 최소화 하여 통행 계획에 편리함을 제공한다.

둘째, 연산이 빠르고 쉬운 방법으로 통행시간을 예측한다. 그리하여 관리자로 하여금 데이터의 처리와 관리를 용이하게 하고, 정보의 생성과정에 소요되는 시간을 최대한 단축한다.

---

2) 2012년 기준. KTX여객수송추이(한국철도공사), 철도여객수송추이(한국철도공사), 각 도시철도 운영기관 수송실적 자료, 국토교통통계연보 수송수단별 여객 수송 현황(국토교통부)을 참고하여 연구자 정리. 여기서 버스는 고속버스, 시내버스, 시외버스, 전세버스를 포함한다.

셋째, 기존방법과 비교하여 예측의 정확도를 높인다(실제 관측값과 비교하여 오차율 10% 미만<sup>3)</sup>). 그리하여 이용자와 관리자의 만족도를 높이고 정보의 신뢰성을 확보한다.

## 제2절 연구의 방법 및 구성

본 연구의 방법 및 구성은 다음과 같다.

첫째, 현재 제공 중인 버스정보관리시스템의 원리와 정류장 대시보드 정보의 생성원리를 검토한다.

둘째, 관련 이론과 기존연구를 고찰하여 통행시간 예측방법의 종류와 장단점을 정리하고, 기존연구와 차이점을 도출한다.

셋째, 버스정보시스템의 이력자료를 사용하여 버스정류장간 통행시간 자료를 구축하고 그 특성을 파악한다.

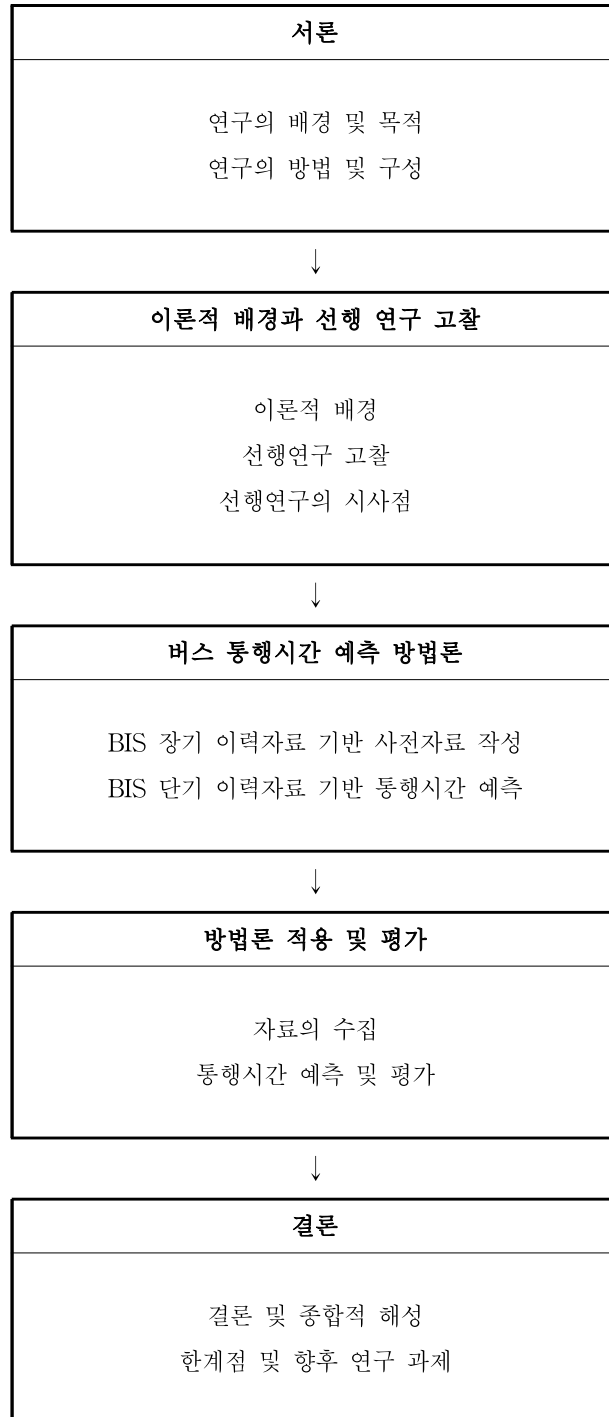
넷째, 확률과정의 개념을 통해 버스 통행시간의 동적 예측이 가능한 방법을 개발한다.

다섯째, 확률과정을 기반으로 하는 버스 통행시간 예측 방법으로 예측한 값과 실제 관측값을 비교하여 정확도를 분석한다. 그리고 계절성 ARIMA 모형을 사용한 예측 통행시간, 이력자료의 평균 통행시간, 포털 사이트의 정적 통행시간 정보의 예측 정확도와 비교, 검증한다.

본 연구의 수행절차는 <그림 1-1>과 같다.

---

3) ITS 성능평가 요령(국토교통부, 2006)은 VDS 성능 평가 방법으로 MAPE를 사용하며, 오차율 10% 이내를 상급수준으로 제시하고 있다.



<그림 1-1> 연구흐름도

## 제2장 이론적 배경과 선행 연구 고찰

### 제1절 이론적 배경

#### 1. 버스정보관리시스템의 개념 및 기본 원리

버스정보시스템(Bus Information System : BIS)은 운행 중인 버스의 실시간 위치, 운행상태 등의 정보를 무선통신을 이용하여 수집하고 가공·분석하여 이용자와 관리자에게 유익한 정보를 제공하는 시스템<sup>4)</sup>이다. 최근에는 버스의 운행상황을 관제하는 버스운행관리시스템((Bus Management System : BMS)과 통합하여 버스정보관리시스템(Bus Management and Information System 혹은 Bus Information and Management System)의 개념으로 사용되고 있다.<sup>5)</sup> BIS가 제공하는 버스정보의 종류는 첫차·막차 시간, 버스노선 및 환승안내, 버스도착정보, 실시간 버스위치정보 등이 있다. 현재 각 지자체별로 BIS 시스템을 구축하여 운영하고 있으며 버스정류소 안내기(Bus Information Terminal : BIT), 인터넷 홈페이지, ARS등을 통해 버스정보가 실시간으로 제공되고 있다.

버스정보시스템은 <그림 2-1>과 같이 센터에서 무선통신을 이용하여 버스의 위치정보를 수집하고, 정류장 내의 BIT에 버스도착예정정보를 제공하는 방식으로 이루어진다. 즉, 버스 내부의 위성항법장치(GPS)를 이용하여 일정 시간간격으로 주행 중인 버스의 위치정보 등을 센터에 송신하고, 센터는 수집된 정보를 바탕으로 노선버스의 운영관리 및 이용자에게 버스도착예정정보를 제공한다.

버스정보시스템은 이용자가 체감하는 대기시간을 최소화 하여 대중교통 활성화에 기여하고 버스 운전자가 앞뒤 차량과의 배차간격을 확인

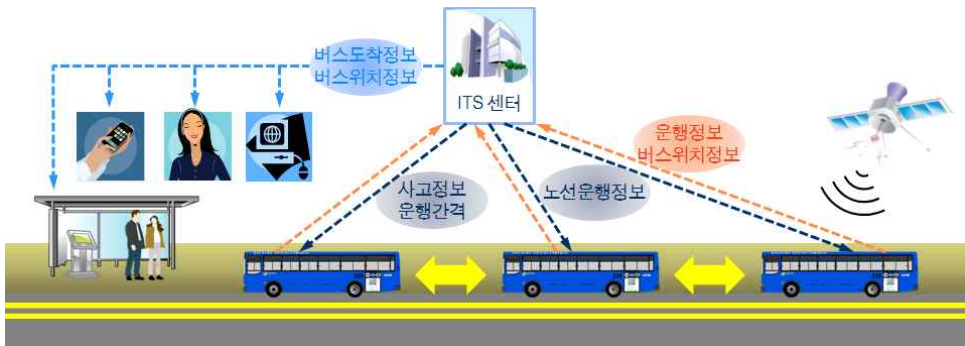
---

4) ITS 용어사전(Ver 2.0), (국토해양부, 2010).

5) 한국ITS 학회(청문사, 2008)에 따르면 버스정보시스템(BIS)와 버스운행관리시스템(BMS)는 논리적으로는 기능구분이 가능하나, 물리적으로는 단일시스템으로 본다.



하여 주행속도를 조정함으로써 일정한 간격을 유지할 수 있도록 한다. 또한 실시간 노선 운행 및 사고정보를 이용하여 탄력적인 버스 운행과 안전한 대중교통 서비스의 제공을 지향하고 있다.



<그림 2-1> 버스정보시스템의 기본 원리 개념도

현재 구축되어 운영 중인 버스정보시스템은 <그림2-1>과 같이 수집된 버스위치 정보를 사용하여 구간별 속도 및 주행시간을 산출하여 BIT에 제공된다. 버스도착정보는 다음의 순서에 따라 1분을 주기로 수행하며 생성된다.

첫째, 최종 이벤트 수집정보로부터 각 버스의 최종 위치를 파악한다.

둘째, 도착예측정보는 현 위치에서 각각의 정류장까지 링크예측정보의 합으로 생성한다.

셋째, 생성된 정류장 도착 예측정보를 기초로 BIT가 설치된 정류장에 노선별 정보를 생성한다.

넷째, BIT설치 정류장에서  $N$ 개 이내의 정류장에 버스가 위치할 경우 인접정보를 제공하며 인접구간에 버스가 없을 경우 가장 가까운 정류장에 위치한 버스의 도착예측정보를 제공한다. 단, 이 단계는 제공전략에 따라 변경될 수 있다.

정류장 기준의 버스도착시간은 국내 대부분의 지자체에서 가중이동평균법(weighted moving average)으로 예측하고 있고, 일부 도시에서는 칼만필터링이나 그 밖의 통계적 기법을 사용하고 있다.<sup>6)</sup> 가중이동평균법은 현재를 기준으로 현재에서 가까운 과거에 수집된 이력자료 일수록 가중치를 주어 주행시간을 산출하는 방법으로, 식(1)과 같다. 정류장별 버스 도착예정시간정보는 각 정류장까지의 링크 통행시간 예측의 합으로 <그림 2-2>와 같다. 여기서 ‘정류장 2’의 도착예정시간은 C, ‘정류장 3’의 도착예정시간은 B+C, ‘정류장 4’의 도착예정시간은 A+B+C가 제공된다.

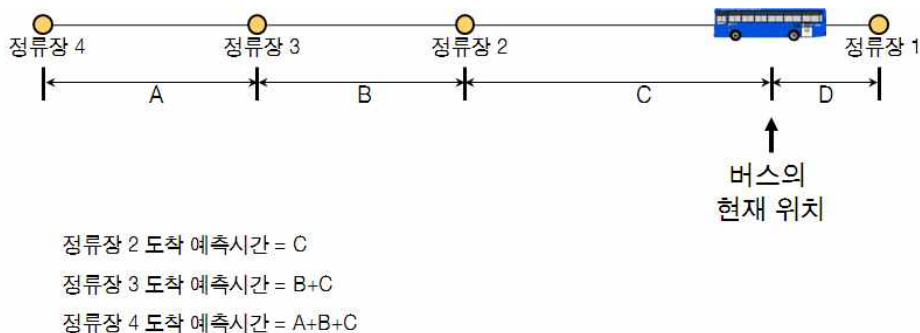
$$RT_{link} = \frac{a_1 \times RT_1 + a_2 \times RT_2 + \dots + a_n \times RT_n}{a_1 + a_2 + \dots + a_n} \quad \text{식(1)}$$

여기서,

$RT_{link}$  : 링크의 평균 주행시간

$RT_n$  :  $n$ 번째의 주행시간

$a_n$  :  $n$ 번째의 가중치



<그림 2-2> 버스정류장 도착예정시간 개념도

6) 남양주시 버스정보시스템(BIS) 알고리즘 검증 및 평가, pp.19-20.

## 2. 통행시간 예측기법

통행시간 예측은 예측기간에 따라 장기예측, 단기예측, 초단기예측으로 나눌 수 있다. 장기예측은 주로 교통 시설 및 인프라 등의 규모를 산정하기 위한 예측에 사용하며 몇 주에서 일년 단위의 예측을 수행하는데 사용한다. 초단기 예측은 1초 미만의 시간간격을 두고 예측을 수행하는데 사용하며 적용 사례로는 실시간 제어 알고리즘이 있다. 예측시간이 분단위 규모의 경우 일반적으로 단기 예측법을 사용한다.<sup>7)</sup>

### 1) 과거 프로파일 접근법

과거 프로파일 접근법<sup>8)</sup>은 정의된 링크와 시간간격동안의 통행시간을 대표하는 과거자료를 기반으로 이와 유사한 특성을 보이는 날들은 각 주기동안의 평균적 교통특성을 나타낸다는 가정을 기본으로 한다. 이 예측법은 Hoffmann과 Janko(1990)에 의해 제안되었으며, 프로브차량에 의해 수집된 통행시간 정보들은 식(2)으로 보정하여 초기값을 갱신한다.

$$\overline{t_{l,n}} = \theta t_{l,n} + (1 - \theta) \overline{t_{l,n}}(old) \quad \text{식(2)}$$

여기서,

$\overline{t_{l,n}}$  :  $n$ 번째 시간주기 동안의  $l$ 링크 프로파일의 새로운 통행시간

$\overline{t_{l,n}}(old)$  :  $n$ 번째 시간주기 동안의  $l$ 링크의 이전에 존재했던 통행시간

$t_{l,n}$  : 가장 최근 관측된 통행시간

$\theta$  : 가장 최근의 관측치에 대한 가중치

7) 이청원, 서울시 동적교통정보 제공을 위한 기본연구, (서울시정개발연구원, 2001), p.49.

8) 박진수 외, 유비쿼터스 환경의 차세대 국가 교통정보 수집체계 개발 및 시범사업 연구보고서, (한국건설교통기술평가원, 2007), pp.45-46.

## 2) 시계열 분석

시계열 분석<sup>9)</sup>은 시계열자료(Time Series Data)를 이용하여 일련의 사실을 설명하는 기법이다. 시계열 자료란 시간의 경과에 따라 변동하는 변수를 관측한 값의 집합을 의미하며, 자료는 시간에 따라 순서가 정해져 있고, 연속된 관측치는 상호 연관성이 있다고 기대되는 특징이 있다. 따라서 시계열분석은 어떠한 현상을 설명할 수 있는 시계열 특성(Time Series Patterns)을 강조하고, 설명력을 약화시키는 잡음(Random Noise 또는 Error)을 줄이는 것이 핵심이라고 볼 수 있다. 시계열 특성은 추세성(Trend)과 주기성(Periodicity)으로 나누어 볼 수 있는데, 추세성은 시계열 데이터의 장기적이고 지속적인 기본 경향을 말하며, 주기성은 일정 시간간격에 따라 반복되는 것으로, 다른 말로는 계절성(Seasonality)이라고 한다.

본 연구는 여러 가지의 시계열 분석방법 중 확률적 모형인 박스-젠킨스 시계열 분석법(Box-Jenkins Time Series Method)의 자기회귀통합이동평균(Auto Regressive Integrated Moving Average : ARIMA)모형과 결정적 모형인 지수평활법(Exponential Smoothing Method), 그리고 필터링 기법중의 하나인 칼만필터링(Kalman Filtering Method)에 대해 살펴보았다.

### (1) ARIMA모형

자기회귀통합이동평균모형( $ARIMA(p,d,q)$ , 식(6))은 과거상태에 기초하여  $t$ 시점에서의 변동이 결정된다는 개념으로,  $p$ 차의 자기회귀모형( $AR(p)$ , 식(3))과  $q$ 차의 이동평균모형( $MA(q)$ , 식(4))을 복합한 자기회귀이동평균모형( $ARMA(p,d)$ , 식(5))에  $d$ 차의 차분을 취하여 비정상시계열을 정상화 시킨 모형이다.

---

9) 원제무, 오영태, 황준환, 첨단교통론, (한울아카데미, 2003), pp.214-220., 노형진, SPSS/EXCEL을 활용한 알기쉬운 시계열분석, (학현사, 2011), p.195. 자료를 참고하여 연구자 정리.

$$Z_t = \sum_{i=1}^p a_i Z_{t-i} + \varepsilon_t \quad \text{식(3)}$$

$$Z_t = \sum_{j=1}^q \theta_j b_{t-j} + \varepsilon_t \quad \text{식(4)}$$

$$Z_t = \sum_{i=1}^p a_i Z_{t-i} + \sum_{j=1}^q \theta_j b_{t-j} + \varepsilon_t \quad \text{식(5)}$$

$$Z_t - Z_{t-d} = \sum_{i=1}^p a_i (Z_{t-i} - Z_{t-i-d}) + \sum_{j=1}^q \theta_j b_{t-j} + \varepsilon_t \quad \text{식(6)}$$

여기서,

$Z_t$  :  $t$ 시점에서의 예측값

$\varepsilon_t$  : 백색잡음

## (2) 지수평활법

지수평활법은 최근 수집된 자료가 과거의 자료보다 현재 상황에 더 많은 영향을 미친다는 개념을 기본으로 하고 있다. 이는 가중이동평균법과 비슷하지만, 예측을 위해 기간에 부여하는 가중치가 최근 자료일수록 지수함수적으로 증가한다는 점에서 차이가 있다. 단일지수평활법, 경향을 반영하는 이중지수형활법, 경향과 주기성을 고려하는 삼중지수평활법 등이 있다. 가장 기본인 단일지수평활법은 식(7)과 같다.

$$F_t = (1-\alpha)F_{t-1} + \alpha D_{t-1} \quad \text{식(7)}$$

여기서,

$F_t$  :  $t$ 시점에서의 예측값

$F_{t-1}$  :  $t-1$ 시점에서의 예측값

$D_{t-1}$  :  $t-1$ 시점에서의 실제값

$\alpha$  : 지수평활계수( $0 < \alpha < 1$ )

### (3) 칼만필터링

칼만필터링은 다른 말로 상태공간모형(State Space Model)이라고 하며 상태방정식(식(8))과 관측방정식(식(9))으로 구성된다.<sup>10)</sup> 이 방법은 상태의 관측치와 예측치의 평균제곱오차를 최소화 하도록 수시로 필터링을 보하여 예측값을 참값으로 수렴시키는 방법으로,<sup>11)</sup> 현재 시점에서 이용 가능한 정보로 다음 관측치의 최적 예측치를 구성하는 단계와, 새 관측치가 갱신되어 상태벡터의 추정량으로 통합되는 단계로 구성된다.<sup>12)</sup> 동적체계, 즉 정상적이지만 불규칙성을 가진 자료에 대한 예측에 많이 사용하고 있으나 계산이 복잡하고 자료의 양이 많을 경우, 자료처리에 소요되는 시간이 길어 도로 수준의 네트워크 보다는 링크 수준의 예측에 많이 사용되고 있다.<sup>13)</sup>

$$x_{k+1} = A_k x_k + w_k \quad \text{식(8)}$$

$$Z_k = H_k x_k + v_k \quad \text{식(9)}$$

여기서,

$x_k$  : 시점  $k$  의  $(n \times 1)$  상태벡터

$A_k$  : 시점  $k$ 에서  $k+1$ 로의  $(n \times n)$  전이행렬

$w_k$  : 알려진 공분산을 가진  $(n \times 1)$ 의 백색순서로 구성인자의  
평균이 0이고, 다른 변수와의 상관관계가 없는 벡터

$Z_k$  : 시점  $k$  의  $(m \times 1)$  관측벡터

$H_k$  : 시점  $k$ 에서 관측벡터와 상태벡터를 연결시켜주는  $(m \times n)$  벡터

$v_k$  : 알려진 공분산을 갖고  $w_k$ 와 상관관계가 없는  $(m \times 1)$  관측오차

10) 원제무, 오영태, 황준환, 첨단교통론, (한울아카데미, 2003), p.224.

11) 이청원, 서울시 동적교통정보 제공을 위한 기본연구, (서울시정개발연구원, 2001), pp.51-52.

12) 한국 ITS학회, 교통정보공학론, (청문각, 2008), p.298.

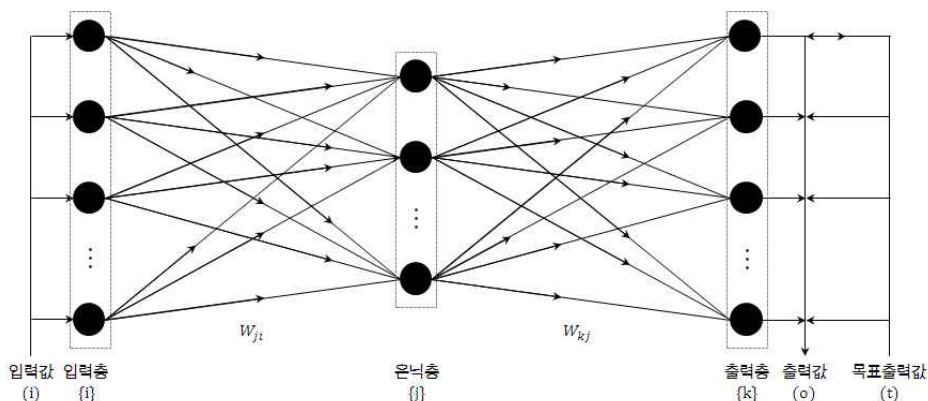
13) 변완희 외, 지능형교통관리시스템 이론과 실무, (청문각, 2009), pp.104-105.

### 3) 신경망 모형

신경망 모형<sup>14)</sup>은 인간의 두뇌에서 영감을 얻어 이를 정보처리 시스템 구조에 적용한 모형이다. McCulloch과 Pitts(1943)에 의해 처음으로 고안되었으며, Rosenblatt(1957)에 의해 초기의 신경망 모형인 단층퍼셉트론이 개발되었다. 여기에 한 개 이상의 은닉층(hidden layer) 개념이 더해진 다층퍼셉트론이 제안된 이후로 더욱 활발하게 연구되어 오고 있으며, 통행시간 예측은 물론 교통류 모형, 교통신호제어, 교통계획분야 등에서 주목을 받고 있다.

신경망 모형은 분산저장과 병렬 분산처리로 다수의 요소가 동시에 처리되고 네트워크의 일부가 파손되어도 제대로 작동할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 예제를 통하여 학습되기 때문에 연산시간을 사전에 예측할 수 없어 데이터의 양이 많고, 그 구조가 복잡할수록 분석에 소요되는 시간이 기하급수적으로 늘어난다는 단점이 있다.

신경망 모형의 개념적인 이해를 돕기 위한 다층 퍼셉트론의 구조는 <그림 2-3><sup>15)</sup>과 같다.



<그림 2-3> 다층 퍼셉트론의 구조

14) 김대수, 신경망 이론과 응용 I, (진한엠앤비, 2005), pp.17-75를 참고하여 연구자 정리.

15) 김대수, 신경망 이론과 응용 I, (진한엠앤비, 2005), p.92를 참고하여 연구자 정리.

#### 4) 비모수 회귀모형

비모수 회귀모형(NPR, Non-Parametric Regression)<sup>16)</sup>은 모수 회귀식(Parametric Regression)과는 다르게 독립변수를 갖지 않는다. 때문에 장래 예측에 있어서, 모수 회귀모형이 독립변수에 의한 영향이 장래에도 동일하게 영향을 미친다는 가정을 전제로 하는 반면(Oswald 등, 2000; 장현호, 2010), 비모수 회귀모형은 현재의 상황과 유사한 과거 사례를 탐색하여 장래를 추정하므로 동적 예측이 가능하다는 특성이 있다(Smith, 2000; 장현호, 2010). 모수 회귀식과 비모수 회귀식의 개념적 차이는 <그림 2-4><sup>17)</sup>와 같다. 비모수 회귀분석에서는 추정을 위해 최근린 분석(k-Nearest Neighbor) 알고리즘이 많이 쓰이며, 이는 식(10)과 같다(Hardle, 1990; 문영준, 2003).

$$\hat{m}_k(x) = n^{-1} \sum_{i=1}^n W_{kl}(x) Y_i \quad \text{식(10)}$$

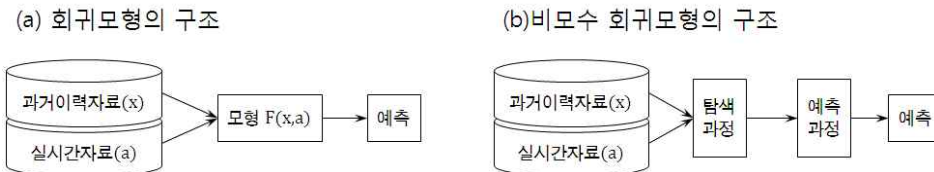
$$W_{kl}(x) = \begin{cases} n/k, & \text{if } i \in J_x; \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases}$$

여기서,

$\hat{m}_k(x)$  : 추정치

$W_{kl}(x)$  : 가중치

$J_x$  :  $x$ 에 대한 최근린 관측치들의 집합



<그림 2-4> 회귀모형(a)과 비모수 회귀모형(b)의 구조

16) 문영준 외(2003)와 장현호(2010)의 연구를 참고하여 연구자 정리.

17) 장현호, NPR기반 누락 교통자료 추정기법 개발 및 적용, (대한교통학회지, 2010), p.63.



[표 2-1] 통행시간의 예측기법의 장단점<sup>18)</sup>

| 종류                    |                  | 장점  | 단점  |
|-----------------------|------------------|---|---|
| 과거<br>프로파일<br>접근법     |                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 알고리즘의 구현이 용이</li> <li>- 실행시간이 빠름</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 정적인 접근방법</li> </ul>  |
| 시<br>계<br>열<br>모<br>형 | ARIMA            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 시계열 자료가 시간의 흐름에 따라 빠르게 변동하는 경우 효과적</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 불연속적이고 동등한 시간간격으로 변동하는 데이터에만 유용한 방법</li> <li>- 적절한 모형의 구현을 위해서는 적어도 50개 이상의 관찰치가 필요</li> <li>- 정상적인 시계열에서만 이 모형의 식별이 가능</li> </ul> |
|                       | 지수<br>평활<br>예측   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 시계열 자료가 시간의 흐름에 따라 느리게 변동하는 경우 효과적</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 계속적인 경향에 뒤처짐</li> <li>- 적절한 가중치를 설정하기 곤란</li> </ul>  |
|                       | Kalman<br>Filter | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 새로운 관측치가 들어올 때마다 필터링 방정식을 반복적으로 적용</li> <li>- 대부분의 경우 초기치에 상관없이 참값으로 빠르게 수렴함</li> <li>- on-line system에 활용성이 높음</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 효율적 적용을 위해 시스템의 정확한 이해와 그에 따른 변수의 선택과 모델링, 필요한 데이터의 적절한 입력이 필요</li> </ul>  |
| 신경망<br>기법             |                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 적응적 학습기능이 있음</li> <li>- 대규모 병렬처리 가능</li> <li>- 함수의 근사화 및 일반화를 통한 비선형 문제의 해결</li> <li>- on-line system에 활용성이 높음</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 데이터의 구조가 복잡할수록 연산시간이 기하급수적으로 늘어남</li> <li>- 신경망 구조, 내부구조, 그리고 활성화 함수 등에 따라 예측력이 달라짐</li> </ul>                                     |
| 비모수<br>회귀모형           |                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 비교적 짧은 시간 내에 예측 수행 가능</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 고난도의 데이터베이스 기술과 컴퓨터 프로그래밍 기법이 필요</li> </ul>  |

18) 이청원, 서울시 동적교통정보 제공을 위한 기본연구, (서울시정개발연구원, 2001), p.54.

### 3. 확률과정

통계학에서는 모집단으로부터 임의로 추출된 표본이 서로 독립 동등 분포 한다고 가정한다. 그러나 여기에 시간의 개념이 추가되어 일정 시간 간격으로 수집된 자료에 대해,  $t$ 시점에서의 사건 발생 확률이  $X(t)$ 일 때, 일반적으로  $t$ 와  $X(t)$ 는 종속관계에 있다고 볼 수 있다. 이와 같이 시간의 경과에 따라 그 상태가 확률적으로 변할 때, 그 확률적인 구조를 모형화 시킨 것을 확률과정(Stochastic Process)<sup>19)</sup> 이라고 한다. 다시 말하여 관측되는 자료는 확률과정의 실현 값으로서, 각 시점마다 확률법칙에 따르는 것으로 간주한다.

확률과정은 시점  $t$ 와 표본점  $w$ 의 함수로 표시된다. 확률변수를 정의 내리는 시점의 집합을  $T$ 라고 하면 확률과정은 시간의 파라메타  $t \in T$ 와 표본점  $w \in \Omega$ 에 대해서  $\{X(t, w) : t \in T, w \in \Omega\}$ 로 나타낸다. 확률과정의 개념은 <그림 2-5><sup>20)</sup>와 같다

확률과정은 상태공간, 시간공간의 형태(이산형, 연속형)에 따라 총 4가지로 구분될 수 있는데, 이 형태분류는 절대적인 분류라기보다는 분석자의 판단에 기초를 둔다. 그리고  $X(t)$ 와  $t$ 시점 이전 상태의 상관관계에 따라 가법과정, 정상과정, 마르코프과정 등으로 다시 분류할 수 있다. 한 표본점  $w$ 의 임의의 시점  $t_1 < t_2 < \dots < t_n$ 에 대해 확률과정  $\{X(t, w)\}$ 이 독립증분을 가질 때 가법과정(additive process)이라고 하고, 확률적으로 평형상태에 있을 때를 정상과정(stationary process)이라고 한다. 마르코프과정(Markov process)은 상태공간과 시간공간의 형태가 모두 이산형을 띄고 있으며, 미래의 상태변화는 현재의 상태에만 기인한다는 마르코프성질(Markov property)을 지닌 대표적인 확률과정이다. 단순 마르코프과정은 한 표본점  $w$ 의 임의의 시점  $t_1 < t_2 < \dots < t_n$ 에 대해 식(11)과 같이 정의된다.

19) 김연형, PASW(SPSS)시계열 분석, (교우사, 2012), 이외숙, 확률과정론 입문, (경문사, 2005) pp.29-43., 김종호, 이기성, 확률과정 입문, (자유아카데미, 2010) pp.77-84를 참고하여 연구자 정리.

20) 송익호 외, 확률과정의 원리, (교보문고, 2009), p.498.

$$P(X(t)=x|X(t_1)=x_1, X(t_2)=x_2, \cdots, X(t_n)=x_n) \quad \text{식(11)}$$

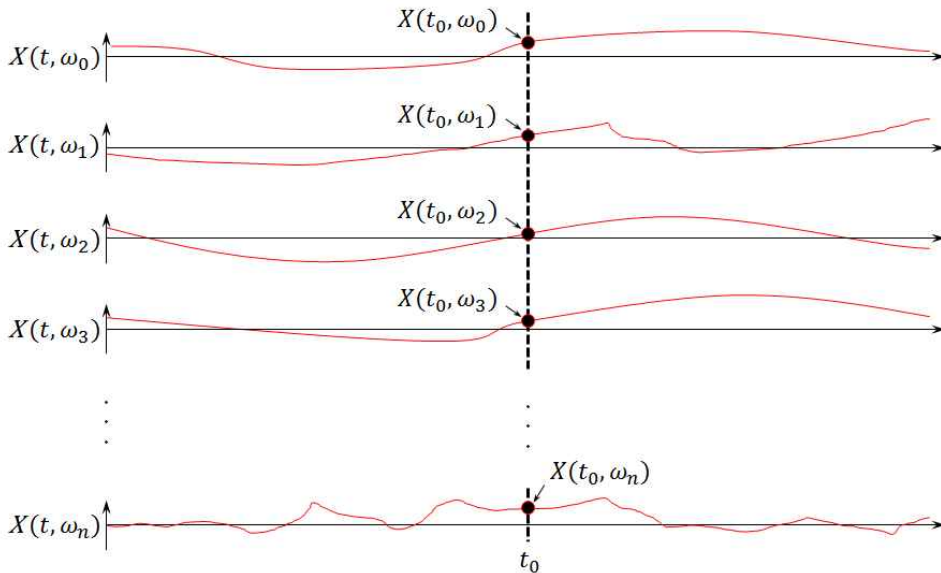
$$= P(X(t)=x|X(t_n)=x_n)$$

같은 방법으로 식(12)가 성립할때의 확률과정을 이중 마르코프과정이라고 정의한다.

$$P(X(t)=x|X(t_1)=x_1, X(t_2)=x_2, \cdots, X(t_n)=x_n) \quad \text{식(12)}$$

$$= P(X(t)=x|, X(t_{n-1})=x_{n-1}, X(t_n)=x_n)$$

다중 마르코프과정도 이중 마르코프 과정과 동일한 개념이다. 여기에서 과거 몇 개의 시점에서의 상태를 단일화 하면, 상태의 수는 증가하지만 단순 마르코프과정으로 정의할 수 있다.



<그림 2-5> 확률과정의 개념도

## 제2절 선행연구 고찰

### 1. 버스 정류장 대기시간 예측관련 연구

버스정보관련 연구는 정류장 대기 시간(Arrival time)관련 연구와 경로 통행시간(Travel Time)관련 연구로 나누어 진행되었다. 정류장 대기시간 예측 연구는 학술 논문과 기술 고도화와 관련된 보고서가 다수 있다.

김승일(2006)은 시스템 오차의 평균값을 확률밀도함수와 random incidence를 활용하여 버스정보시스템(BIS) 정류장 도착예정시간정보의 가공방법에 대해 연구하였다. 이승훈(2010)은 Markov Chain을 이용하여 버스정류장별 지체시간을 추정하고 그 추정 값으로 버스도착시간 예측하였다. 그 결과 가중이동평균법 사용 시 발생하는 time lag 문제를 해결하였고 예측 정확도도 비교적 우수하였다. Yu(2011)는 버스정류장을 경유하는 각 노선별 통행시간 예측을 바탕으로 버스도착시간을 예측하였다. 여러 가지 예측모형을 사용하여 예측 결과를 비교한 결과 SVM, K-NN, 인공신경망모형, 선형회귀모형 순으로 높은 신뢰도를 보였다.

### 2. 통행시간 예측관련 연구

통행시간 관련 연구의 대부분은 일반 차량의 링크 통행시간을 예측하는 연구였으며 대개의 경우 경로탐색과정을 포함하고 있다. 이정대(2005)는 프로브차량 데이터를 사용, 칼만필터법을 이용하여 통행시간을 시간대별로 구분하여 예측하였다. 예측결과는 비교적 정확하였으나, 실시간 예측정보 활용을 위해 시계열 자료의 모수를 사람이 직접 추정해야 한다는 한계가 있었다. Hunter(2013)는 프로브차량 데이터(GPS 수집)를 사용, Gaussian Markov Random Fields 기반 Markov 모형(MM-GMRF)을 사용하여 광범위의 네트워크에서의 통행시간을 우수하

게 예측 하였다. 이영우(2013)는 버스를 프로브 차량으로 두어 일반 차량의 링크 통행시간을 예측을 하였다.

### 3. 버스 통행시간 예측관련 연구

버스 통행시간 관련 예측연구는 정류장 대기시간 예측이나 통행시간 연구에 비하여 비교절 활발하지 못하였다.

김주현(2001)은 GPS를 이용하여 버스 통행자료를 실시간으로 수집, 통행시간을 예측하였다. 출발지와 목적지의 통행시간 예측은 정보요구시점을 기준으로 버스통행시간 이력과 가장 최근 통행시간에 가중치를 둔 평균 주행시간자료를 사용하여 예측하였다. 침두시/비침두시로 나누어 표준평균법, 이동평균법과 비교한 결과, 1분 이내의 오차로 예측의 신뢰도가 높게 나타났다.

이희중(2005)은 신경망 모형을 적용하여 연속류와 비연속류가 혼재한 교통상황에서의, 즉 도시간의 통행시간을 예측하였다. 서울-용인을 통행하는 광역버스 노선상의 승용차 통행시간과 기하구조자료(차로수, 신호등수, 교차로 수, 버스전용차로 및 중앙버스전용차로의 유무 등)를 독립변수로 신경망 모형을 구축하였다. 모형의 적용결과 연속류구간에 비하여 단속류 구간의 통행시간 예측은 정확도가 다소 우수하지 못하였다.

박신형(2006)은 한 통행을 교통수단과 환승 여부에 따라 버스통행, 지하철 통행, 버스-지하철간의 환승이 있는 통행으로 분류하고 세 가지 경우에 대하여 경로탐색과정을 포함한 통행시간 예측을 수행하였다. 경로탐색 과정은 수단별로 나누어 지하철 네트워크의 경우 Dijkstra 알고리즘을, 버스 네트워크의 경우 DB탐색 기법을 적용하였다. 통행시간예측 과정은 비모수 회귀분석 알고리즘을 응용하여 총 2차에 거친 최근린 검색을 통해 가장 유사한 패턴을 보이는 시계열 데이터를 기반으로 통행시간을 예측하는 방법을 사용하였다. 실제 데이터의 적용결과, 동일 출발지와 목적지를 가진 통행일 지라도, 검색 요일 및 시간대에 따라 다른 예

측결과를 얻을 수 있었다. 예측된 값을 실제 통행시간과 비교하였을 때, 기존 제공되고 있는 통행시간 제공 서비스에 비하여 우수한 예측력을 보였다. 그러나 예측 정확도의 검증단계에서 한 구간의 하루 전체의 전반적인 통행 예측이 아닌 일정시간대의 예측만을 검증하였으며 그 방법이 단순 예측시간의 차이를 비교하였기 때문에 예측 정확도의 정도를 정확하게 알기 어려웠으며 정보생성단계에서 긴 연산시간을 요구하는 한계가 있었다.

박평근(2010)은 이력 데이터 기반으로 강수의 유무에 따라 날씨계수를 산출하여 기상에 따른 상황을 반영한 버스통행시간을 예측하였다.

B. WANG(2012)은 GPS 데이터를 사용하여 전통적인 칼만필터법을 개선하여 버스 통행시간을 예측하였다. 기존 칼만필터법에 “forgotten factor”의 개념을 도입하여 예측에 사용되는 오래된 자료의 영향력을 줄이고, 최근 수집된 자료의 활용비율을 높여 예측하는 방법을 개발하였다. 그 결과 전통적 방법보다 동적 상태를 잘 반영하였고 예측의 정확도는 높았으나, 통행시간 예측에서의 “Optimal noise error”를 정확하게 찾을 수 없어 연구의 한계로 남았다.

### 제3절 선행연구의 시사점

관련이론과 선행연구 고찰결과, 본 연구의 차이점을 다음과 같이 정리하였다.

첫째, 버스정보 관련 논문에서는 버스 도착시간 관련 연구는 활발하게 이루어지고 있는 반면, 버스 통행시간 예측관련 연구는 매우 희소하였다. 일반 경로 통행시간 관련 예측연구는 비교적 쉽게 찾을 수 있었으나 논문의 특성상 최적경로 탐색과정까지 포함하고 있어 정해진 경로로 주행하는 버스의 통행시간 예측과는 연구의 주안점에 차이가 있었다.

둘째, 버스통행시간 예측관련 연구는 예측모형이 구축되더라도 동적 요소로 인해 변수가 발생할 수 있기 때문에 그 연구가 희소하였다. 그렇기 때문에 본 연구에서는 통행시간 예측에 모수추정을 사용하는 것이 아니라, 가장 최근에 수집된 이력자료를 기반으로 통행시간을 예측하는 비모수적 방법을 사용하였으며 이를 위해 확률과정의 개념이 도입되었다.

확률과정은 기존의 단기예측기법들과 비교해 볼 때, 적용이 단순할 뿐 아니라 대규모 네트워크에 대한 실시간 데이터 수집과 반영이 어려울 경우 과거 데이터들을 확률적으로 이용하여 시간 변화에 따른 특성을 예측해 줄 수 있다는 장점이 있다.

## 제3장 버스 통행시간 예측 방법론

### 제1절 개요

본 연구의 버스 통행시간 예측 방법은 이력자료를 사용하여 정적자료를 구축하고, 이 자료를 기반으로 예측 당일의 교통상황을 반영하여 동적인 예측을 하는 것을 기본 개념으로 한다. 전체적인 수행절차는 <그림 3-1>과 같다. 본 장에서는 BIS 장기 이력자료 기반의 사전자료 작성 부분과 단기 이력자료 기반의 실시간 자료 수집 및 통행시간 예측부분, 그리고 예측결과의 평가부분에 대해서 다룬다. 자료수집 부분은 제4장에서 다루도록 한다.



<그림 3-1> 방법론의 수행절차



## 제2절 BIS 장기 이력자료 기반 사전자료 작성

### 1. 시간단위 설정

1개의 시간단위( $S$ )의 설정시간( $T_S$ )은 버스노선의 계획된 배차간격( $I_{bus}$ )을 고려하여 설정한다. 다시 말하여, 매 설정시간단위( $T_S$ )동안 한 대 이상의 버스가 운행하고, 계획배차시간간격의 두 배를 넘지 않을 때( $I_{bus} < T_S < 2I_{bus}$ ) 자료에 내재되어 있는 특성을 잘 나타낼 수 있다.

예를 들어, 배차간격이 7~8분인 버스의 설정시간단위( $T_S$ )를 배차간격보다 짧은 5분으로 설정한다면 운행중인 버스가 없는 시간단위( $S_x$ )가 발생하게 된다. 반면, 설정시간단위( $T_S$ )를 배차간격보다 2배가량 긴 15분으로 설정한다면 한 개의 시간단위( $S_x$ ) 내에 2대 이상의 버스정보가 수집될 가능성이 높아 자료를 효율적으로 사용할 수 없게 된다. 이 조건을 고려하여 한 개의 설정시간단위( $T_S$ )를 10분으로 설정하면, 매 시간단위( $S_x$ )에 평균 한 대의 차량이 운행하는 균등한 형태로 자료가 구축되어 이력자료의 특성을 잘 반영하게 된다. 그리고 1시간은 6개의 시간단위( $S_x$ )로 설정이 되어, 하루는 총 144개의 시간단위( $S_1 \sim S_{144}$ )를 가지게 된다. 그러므로 시간단위  $S_1$ 은 오전 12시 정각에서 12시 10분을 나타내게 된다. 계획배차간격( $I_{bus}$ ), 설정시간( $T_S$ ), 시간단위의 수( $N$ )의 관계는 식(13)과 같다.

$$N = \frac{T_S}{24}, (I_{bus} < T_S < 2I_{bus}) \quad \text{식(13)}$$

여기서,

$N$  : 하루 시간단위 수

$T_S$  : 설정시간(분)

$I_{bus}$  : 버스 계획배차시간

## 2. BIS 장기 이력자료 기반 통행시간 자료 구축

### 1) 자료 구축 및 보정

우선, 한 노선의 전체 정류장에 대한 O-D 통행시간 자료를 구축한다. 즉, 한 노선의 시점과 종점을 제외한 모든 정류장은 출발정류장(O)이 될 수도, 도착정류장(D)이 될 수도 있으며, 최종적으로 모든 통행구간에 대한 통행시간은 <그림 3-2>의 형태로 구축한다. <그림 3-2>에서 ‘가~마’는 정류장이며, ‘a~j’는 정류장간의 통행시간이다. 정류장간의 통행시간 자료 구축 순서는 다음과 같이 이루어진다.

단계1. 일별 운행기록을 바탕으로 모든 운행차량에 대해 정류장간 버스 통행시간( $RT_{od}$ )을 산정한다.

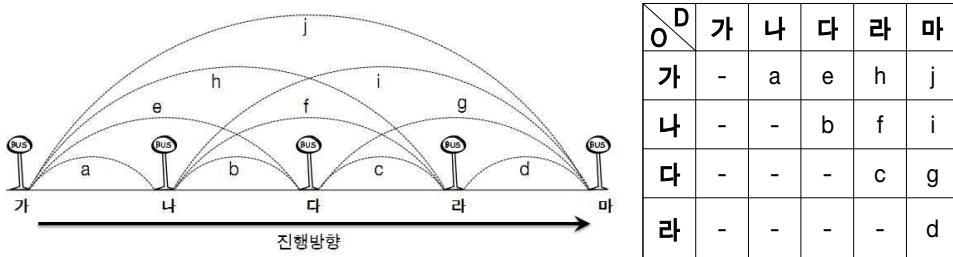
단계2. 운행차량의 기점 출발 시각을 기준으로 시간단위 구분을 한다.

단계3. 모든 시간단위에 대해, 매 시간단위( $S_x$ )와 그 전·후 시간단위( $S_{x-1}$ ,  $S_{x+1}$ )에 출발한 버스의 통행시간 기록을 평균한다.

단계4. 3단계에서 도출한 평균을 기준으로 이상치를 제거한다.

단계5. 결측치를 보정하고 시간단위당 한 개의 통행시간 기록을 갖도록 자료형태를 구축한다.

단계6. 인접 정류장간의 통행시간을 더하여 전체  $RT_{od}$ 를 구축한다.



<그림 3-2> 한 개의 시간단위에 대한 통행시간 자료구축의 범위

첫 번째 단계에서는 버스정류장 도착시각 기록을 바탕으로 인접 정류장간의 통행시간, 즉 <그림 3-2>의 a~d를 구한다. 통행시간은 버스가 정류장  $X$ 에 도착한 시각과 정류장  $X-1$ 에 도착한 시각의 차이로 본다. 이 과정으로 본 연구에서 사용하는 통행시간 자료는 버스정류장에서의 승하차 시간을 포함하게 된다.

두 번째 단계에서는 운행차량이 노선의 기점에서 출발한 시각이 하루 24시간,  $N$ 개의 시간단위 중에 몇 번째 시간단위( $S_x$ )에 해당하는지를 판단한다. 그러나 실제로 전 정류장에 대해 버스가 계획배차간격에 정확히 맞추어 운행되기로 사실상 불가능하기 때문에 시간단위의 길이( $T_S$ )는 계획배차간격( $L_{bus}$ )보다 여유를 두고 설정하게 된다(식(13) 참조).

세 번째 단계에서는  $T_S$ 동안 한 대의 차량이 운행하는 형태로 자료를 구축하기 위한 보정작업을 수행한다. 이때, 매 시간단위( $S_x$ )와 그 전·후 시간단위( $S_{x-1}$ ,  $S_{x+1}$ )에서 기점을 출발한 차량들의 정류장간 통행시간을 평균하고, 이상치 제거를 위해 다음단계를 함께 진행한다.

네 번째 단계에서는 이전단계에서 도출한 평균을 기준으로 기초자료로서의 특성을 둔화시키는 이상치를 제거한다. 여기서 정류장별 구축된 통행시간 자료( $RT_{od}$ )들은 종형분포인 정규분포를 따르며, 경험법칙에 따라 대부분의의(99.7%) 자료는 평균의  $\pm 3\delta$  이내에 있다고 가정하여 이외의 값을 이상치로 보았다.

다섯 번째 단계에서는  $T_S$ 동안 한 대의 버스가 기점을 출발하는 형태가 되도록 자료를 구축한다. 이상치가 제거된 기록을 가지고 세 번째 단계를 매 시간단위( $S_x$ )에 걸쳐 모든 정류장에 대해 재 수행한다.

여섯 번째 단계에서는 이전 단계까지 구축된 인접 정류장간 통행시간의 합으로 예측하고자 하는 출발지와 목적지간의 통행시간을 구한다. 다시 말하여 <그림 3-2>의 e는 a와 b의 합이며, 한 노선에서 발생하는 모든 통행구간의 수( $RN$ )는 식(14)에 의해 도출된다.

$$RN = \frac{n_{busstop}(n_{busstop} - 1)}{2} \quad \text{식(14)}$$

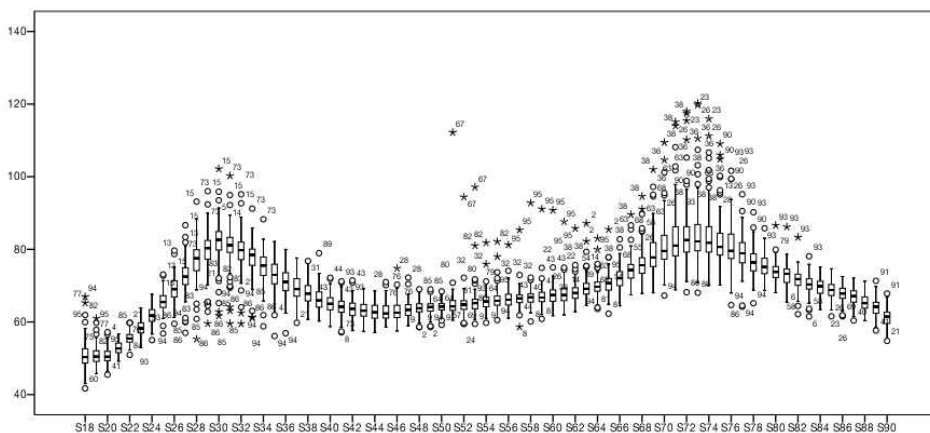
여기서,

$RN$  : 노선별 통행구간 수

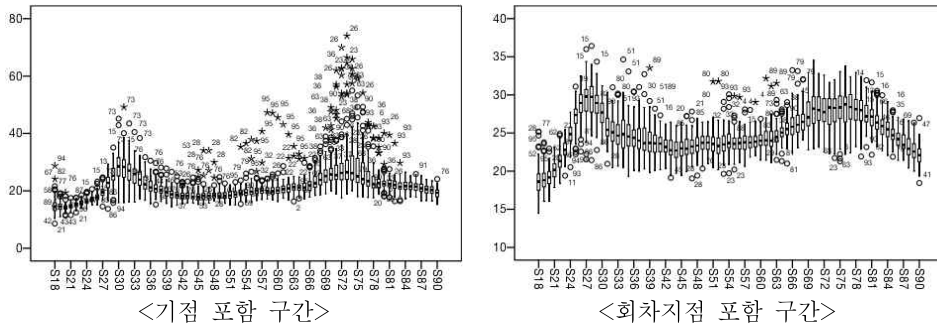
$n_{busstop}$  : 노선별 버스정류장 수

## 2) 자료의 특징

<그림 3-2>의 a~j의 모든 통행구간은 각각 <그림 3-3>과 같은 형태의 통행시간자료를 가지게 된다. <그림 3-3>에서  $x$ 축은 시간이고(단위: 설정시간단위( $S_x$ )),  $y$ 축은 통행시간(단위: 분)으로 각 시간단위마다 통행시간의 최솟값, 제1사분위수, 중앙값, 제3사분위수, 최댓값 등을 알 수 있다. 버스의 정류장간 평균 통행시간과 표준편차는 구간의 범위나 정류장 위치, 혹은 버스의 운행 시간단위( $S_x$ )에 따라 다르다. 첨두시에, 그리고 통행속도 조절이 자유로운 구간에서 대체적으로 편차가 크게 나타나며, 이는 <그림 3-4>에서 확인할 수 있다.

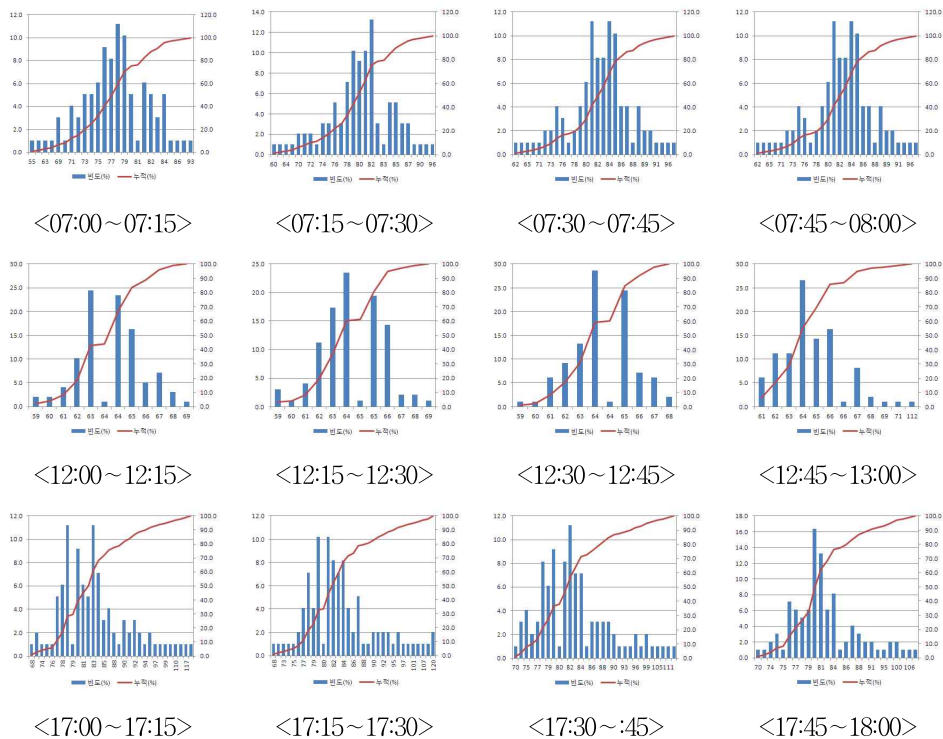


<그림 3-3> 통행시간 자료(평일) 상자도표의 예



<그림 3-4> 예측 구간에 따른 통행시간 자료(평일) 특성

통행시간 분포의 형태는 차량운행 출발 시각에 따라 <그림3-5>의 빈도와 같이 다양한 유형을 보인다. 따라서 본 연구에서는 <그림3-5>의 누적분포의 개념을 이용하여 모든 시간단위의 통행시간 자료를 구축한다.



<그림 3-5> 시간대별 통행시간 분포 및 누적분포 그래프(평일) 예

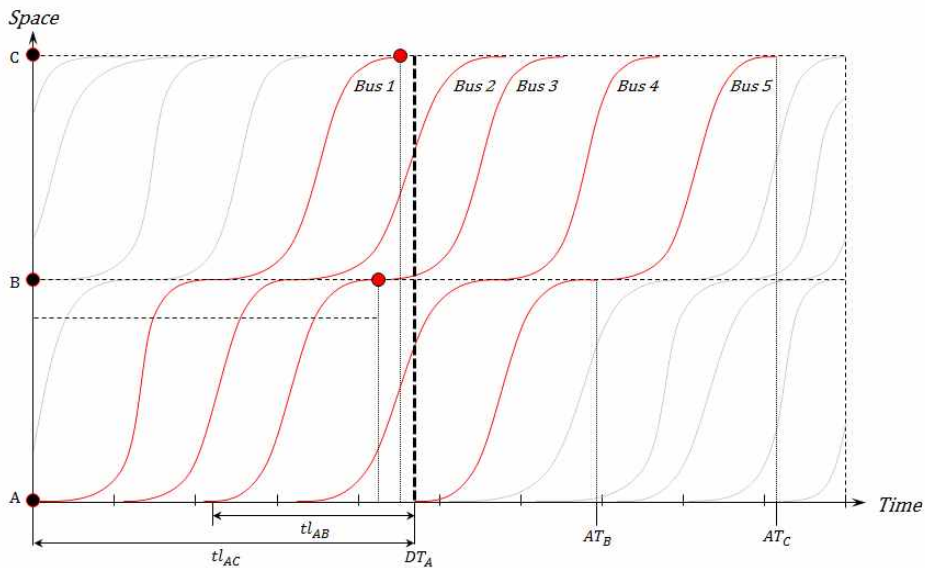
### 제3절 BIS 단기 이력자료 기반 통행시간 예측

#### 1. 관측일 통행완료 자료 수집

본 절에서는 제2절에서 구축한 정적 통행시간자료와 최근에 통행 완료된 자료를 기반으로 동적 통행시간 예측을 수행한다.

우선, 예측대상 구간(A-B)의 출발정류장(A)에서 이용자의 예상 출발 시각과 그에 해당하는 시간단위( $S_x$ )를 판단하고,  $S_x$  이전에 통행을 완료한 차량에 대한 통행시간 자료( $TT$ )를 수집한다.

이때  $S_x$ 와  $S_x$  이전에 통행을 완료한 차량은 구간(A-B)의 통행시간 만큼의 시간차이( $tl$ )를 갖게 되는데, 이를 시간처짐현상(Time lag)이라고 한다. 다시 말해서 예측에 사용할 수 있는 통행시간 자료는  $S_x$ 의 시점에서  $tl$  만큼의 과거 기록이다. 이는 이력자료를 사용할 경우 필연적으로 발생하는 논리적 오차로서, 이 현상으로 구간(AB)의 통행시간이 길어질수록 예측에 사용 가능한 자료는 현재의 시점에서 멀어지게 된다.



<그림 3-6> 시간처짐현상의 개념도

<그림 3-6>은 시간처짐현상의 개념도로  $x$ 축은 시간(단위: 설정시간 단위( $S_x$ )),  $y$ 축은 공간(단위: 정류장 위치)을 나타낸다. 'Bus 5'를 기준으로 볼 때,  $DT_A$ 는 정류장A 출발시각,  $AT_B$ 는 정류장B 도착시각, 그리고  $AT_C$ 는 정류장C 도착시각을 의미한다. 'Bus 5'의 정류장A-B 구간 통행 시간 예측을 수행할 경우  $tl_{AB}$  만큼의 시간처짐현상이 발생하는데, 이에 해당하는 시간단위의 개수  $N_{tl}$ 은 1이다. 따라서 'Bus 4'가 아니라,  $DT_A$  이전에 해당구간 통행이 완료된 버스 'Bus 3'의 통행시간이 예측에 사용할 수 있는 가장 최근자료가 된다. 'Bus 5'의 정류장A-C 구간 통행시간 예측을 수행할 경우에는  $DT_A$ 시점을 기준으로  $tl_{AC}$  만큼의 시간처짐현상이 발생한다. 따라서  $N_{tl}=3$ 이며, 3개의 시간단위 이전을 기준, 최근 수집된 자료 'Bus 1'부터 통행시간을 예측에 사용할 수 있다.

## 2. 확률적 통행시간 예측 수행

출발예정시간 기준으로 최근 수집된 자료는 관측일의 교통상황이 반영된 자료로 볼 수 있다. 이 자료와 제2절에서 구축한 장기이력자료를 기반으로 예측일과 예측시간대, 그리고 통행구간의 특성이 반영된 통행 시간 예측을 수행한다.

장기간에 걸친 운행기록이 있는 모든  $S_x$ 는 <그림 3-5>와 같은 누적 분포 그래프를 가진다. 각 시간단위  $S_x$ 의 누적분포함수는  $f_x(\cdot)$ 이며, 각  $S_x$ 에 대한 통행시간  $TT$ 의 백분위를  $P_x$ 로 정의한다. 즉,  $TT_x$ 보다 짧은 통행시간이  $S_x$ 의 동일구간 통행시간기록 중 몇% 있는지를 표현하는 것이  $P_x$ 이며, 이를 수식화 하면 식(15)와 같다.

관측일의 통행 완료된 버스가 예측구간을 통행할 때의 시점을  $S_p$ 로 정의 할 때, 통행이 최근 완료된 시점  $p$ 는  $x - N_{tl}$ 이다. 즉,  $S_p$ 는 시간처짐현상을 반영하면서 예측자료로서의 사용이 가능한, 현재시점에서 가장 가까운 시간단위이다.

$$P_x = f_x(TT_x) \quad \text{식(15)}$$

여기서,

$P_x$  :  $TT_x$ 의 통행시간 장기 이력자료 백분위

$f_x(\cdot)$  :  $S_x$ 의 통행시간 장기 이력자료 누적분포함수

$TT_x$  : 관측일,  $S_x$ 의 버스통행시간

$S_p$ 를 기준으로 그 이전에 수집된 자료  $S_{p-1}, S_{p-2}, \dots, S_{p-n}$ 은 수집된 시기, 즉 버스가 해당구간을 통행완료한 시기가 최근인 순서로 사용한다. 여기서 예측에 적정한 사용시간단위의 개수  $n$ 은 제4절에서 다루도록 한다.

사용이 결정된  $S_{p-1}, S_{p-2}, \dots, S_{p-n}$ 이 예측에 반영되는 비중은 동일하다고 보고 각 자료들의  $P_x$ 를 산술평균을 한다. 이를 수식화 하면 식(16)과 같다. 도출된  $P_a$ 는 통행시간을 예측하고자 하는 시점  $S_x$ 의 누적분포함수에 식(17)과 같이 적용하여 통행시간을 예측한다.

$$P_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{p-n-1} \quad \text{식(16)}$$

$$E_x = f_x^{-1}(P_a) \quad \text{식(17)}$$

여기서,

$P_a$  : 통행예측시간 적용 확률

$n$  : 예측에 사용한 시간단위 개수

$E_x$  :  $S_x$ 에 출발한 차량의 예측 통행시간



예를 들어, 시간단위의 길이  $T_s$ 는 10분이고 오전 6시에 버스를 타려고 한다면, 이에 해당하는 시간단위는  $S_{37}$ 이다. 다시 말해서 하루를 10분 단위로 나누었을 때, 오전 6시는 오전 0시를 기준으로 37번째 시간단위에 해당한다.  $S_{37}$ 에 버스를 타고 정류장A에서 정류장B까지 통행 할 때, 같은 구간을 통행한 이전 버스( $S_{36}, S_{35}, \dots, S_0$ )의 통행시간자료를 예측에 사용한다. 이때,  $S_{37}$ 보다 한 단위 이른  $S_{36}$ 에 출발한 차량이 아직 정류장 B에 도착하지 못했다면, 구간의 통행시간자료가 수집되지 않았다고 볼 수 있다. 그 이전인  $S_{35}$ 의 버스도 아직 운행완료 전이라면, 두 개의 시간단위에서 시간처짐현상이 발생하여( $N_{it}=2$ ), 예측에 사용할 수 있는 최근 시간단위  $S_p$ 는  $S_{34}$ 가 된다. 즉, 출발시간 기준에서 통행이 완료된 기록 중 최근의 자료를 사용하여 통행시간을 예측한다. 예측에 사용하는 시간자료의 수  $n$ 은 3일 때, 예측에 사용하게 되는 시간단위는  $S_p = S_{35}$ ,  $S_{p-1} = S_{34}$ ,  $S_{p-2} = S_{33}$ 이 된다. 각 시간단위에서 정류장A-B( $RT_{AB}$ )를 통행하는데 소요된 시간은 모두 17분으로 동일하다고 한다면, 이를  $TT_{34}=17$ ,  $TT_{33}=17$ ,  $TT_{32}=17$ 로 표현 할 수 있다. 각 시간단위의 이력자료는 <그림 3-5>와 같은 누적도수분포를 가지는데, 각 시간단위에서 17분이라는 시간의 백분위가 각각 70%, 75%, 80%라면,  $P_a$ 는 이 세 값의 평균인 75%가 된다. 따라서  $S_{37}$ 의 장기 이력자료에서 75백분위 통행시간을 관측일의 오전6시, 정류장A-B 구간의 예상통행시간으로 제공하게 된다.

## 제4절 예측 통행시간 평가

예측결과의 정확성을 판단하기 위한 대표적인 방법으로는 평균 절대 백분율 오차(Mean Absolute Percentage Error: MAPE, 식(16)), 평균 절대 오차(Mean Absolute Error, 식(17)), 제공근 평균 제공 오차(Root

Mean Square Error: RMSE, 식(18))가 있다.

MAPE는 실제 관측값에 대한 예측 오차의 상대적인 크기를 나타내는 것으로, 분야를 막론하고 예측관련 연구의 평가지표로 사용되고 있다. 현재 국내 ITS 장비(VDS)의 성능 평가 척도로 활용되고 있으며 정확도의 기준은 오차율 10% 이내를 상급수준으로 제시하고 있다.<sup>21)</sup>

MAE는 예측 오차의 절대적인 크기를 나타내는 것으로, 다시 말하여 관측값과 예측값의 편차를 의미한다.

RMSE는 표준편차의 일반화된 식으로 추정 값이 실제 환경에서 관찰되는 값의 차이를 다룰 때 흔히 사용하는 척도이다. 정밀도를 표현하는데 적합한 방법으로 MAPE와 함께 예측값의 검증에 널리 사용되고 있는 방법이다.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{T(S_i) - \hat{T}(S_i)}{T(S_i)} \right| \times 100 \quad \text{식(16)}$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |T(S_i) - \hat{T}(S_i)| \quad \text{식(17)}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [T(S_i) - \hat{T}(S_i)]^2} \quad \text{식(18)}$$

여기서,

$\hat{T}(S_i)$  : 시간단위  $S_i$  에서의 예측 통행시간

$T(S_i)$  : 시간단위  $S_i$  에서의 실제 통행시간

$n$  : 사용한 시간단위 수

---

21) ITS 성능평가 요령(국토교통부, 2006) p.3

## 제4장 방법론 적용 및 평가

### 제1절 자료의 수집

#### 1. 분석대상 선정

분석대상은 안동포교회-부개역을 운행하는 인천 79번 간선버스의 상행노선으로, 회차지점(부개역)을 제외한 연속된 57개 정류장에 해당한다. 노선길이와 정류장개수를 고려하여 분석구간을 단거리, 중거리, 장거리로 세분하고, 총 여섯 개 구간에 대하여 통행시간 예측을 수행하였다. 해당 노선 및 분석구간 정보는 [표 4-1]과 같다. 대상 노선의 첫차시간과 막차시간은 각각 4시 30분과 22시 50분으로 계획 배차간격은 12~13분이다.

구간1과 구간4는 노선의 기점을 포함하는 구간으로 해당구간 내에 주요 버스정류장이 많지 않다. 구간3과 구간5는 회차지점(부개역) 인접 구간으로 구간내에 관청(계양구청), 대형상업시설(이마트) 등 주요시설과 주거지역이 밀집해 있다. 또한 도시철도 7호선(삼산체육관역)과 인천 1호선(계산역)과의 환승이 용이한 주요정류장을 포함한다.

[표 4-1] 분석대상 구간 정보

| 구간구분 |     | 정류장명          | 구간길이(m) | 정류장위치  |
|------|-----|---------------|---------|--|
| 단    | 구간1 | 안동포교회-서해아파트   | 8,468   |  |
|      | 구간2 | 서해아파트-오조산공원   | 7,834   |  |
|      | 구간3 | 오조산공원-부개성일아파트 | 6,778   |  |
| 중    | 구간4 | 안동포교회-공촌정수장   | 11,752  |  |
|      | 구간5 | 공촌정수장-부개성일아파트 | 11,328  |  |
| 장    | 구간6 | 안동포교회-부개성일아파트 | 23,080  |  |

## 2. 기초자료 구축

일단위로 수집된 BIS 자료를 기반으로 구축된 버스 운행기록은 버스 ID, 운행회차, 운행 시작시각과 종료시각, 각 버스정류장에 도착한 시각 등의 정보로 구성되어 있다. 이 자료를 사용하여 시간단위( $S_x$ ) 기준의 정류장간 통행시간자료로 구축한다. 본 연구에서는 분석대상 노선의 계획 배차간격(12~13분)과 계산의 용이성 등을 고려하여 1개의 시간단위( $S$ )를 15분으로 설정하였다. 그리고 설정된 시간단위를 기준으로 통행시간 예측을 위해 보정을 완료한 자료를 <그림 4-1>의 형태로 구축하였다. 기초자료구축에는 2012년 3월 14일부터 8월 20일 사이에 수집된 자료 중, 누락일분을 제외하고 총 135일분의 자료가 사용되었다.

|    | A   | B          | C          | D          | E          | F          | G          | H          | I          | J          | K          | L          | M          | N          | O          | P          | Q          | R          |
|----|-----|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1  | Seq | 2012-03-14 | 2012-03-15 | 2012-03-16 | 2012-03-17 | 2012-03-18 | 2012-03-19 | 2012-03-20 | 2012-03-21 | 2012-03-22 | 2012-03-23 | 2012-03-24 | 2012-03-25 | 2012-03-26 | 2012-03-27 | 2012-03-28 | 2012-03-29 | 2012-03-30 |
| 2  | 18  | 49.816444  | 49.325     | 49.071667  | 49.050333  | 47.654167  | 52.692778  | 47.169444  | 53.033333  | 48.666667  | 49.741111  | 52.25      | 47.136111  | 52.55      | 47.942778  | 46.45      | 52.263333  | 48.765     |
| 3  | 19  | 48.595     | 49.285556  | 49.940889  | 49.2925    | 48.132778  | 55.506111  | 47.661389  | 50.534222  | 46.955     | 50.471111  | 50.089222  | 57.406111  | 50.808333  | 47.048889  | 47.0525    | 50.305     | 50.9201667 |
| 4  | 20  | 49.581111  | 49.7188492 | 50.200794  | 50.735833  | 48.8975    | 56.6047222 | 47.067778  | 48.4041667 | 47.706667  | 49.8930556 | 50.3425    | 51.4802778 | 50.371111  | 47.731389  | 47.848611  | 50.888667  | 52.58      |
| 5  | 21  | 51.2058333 | 54.262619  | 52.5125    | 53.45      | 52.688889  | 55.4       | 50.5375    | 49.4736111 | 50.971111  | 50.748611  | 52.3141667 | 51.4480556 | 51.25      | 50.21      | 51.0047222 | 49.5541667 | 55.2302778 |
| 6  | 22  | 54.376111  | 55.398333  | 53.823333  | 53.75      | 54.722222  | 55.966667  | 55.046667  | 52.5997222 | 54.830333  | 53.408333  | 56.4513889 | 56.4513889 | 54.425     | 54.1047222 | 52.3655556 | 53.8487222 | 56.4725    |
| 7  | 23  | 56.8541667 | 57.661111  | 56.742778  | 57.7597222 | 56.280611  | 56.983889  | 58.950111  | 55.446889  | 57.704444  | 56.637222  | 59.3605556 | 57.541667  | 57.627778  | 56.388667  | 52.9572222 | 56.803889  | 58.0425    |
| 8  | 24  | 60.7841667 | 61.631667  | 60.255833  | 59.8402778 | 58.3097222 | 61.1272222 | 63.46      | 60.4605556 | 61.3955556 | 61.6758333 | 60.1541667 | 60.9513889 | 62.0365889 | 61.788889  | 57.596111  | 60.855     | 64.9947222 |
| 9  | 25  | 66.613333  | 67.249444  | 67.41      | 65.716667  | 60.526111  | 64.044444  | 66.774444  | 67.145     | 65.3341667 | 66.3391667 | 61.861111  | 63.983333  | 63.236579  | 65.9130556 | 63.008333  | 67.254444  | 73.073889  |
| 10 | 26  | 69.3527778 | 72.5191667 | 71.8180556 | 68.491667  | 62.444444  | 68.678333  | 70.7891667 | 71.3158333 | 68.391667  | 69.016667  | 64.4055556 | 65         | 67.803611  | 69.495     | 68.5491667 | 69.0325    | 79.663889  |
| 11 | 27  | 73.035556  | 74.915     | 78.305     | 67.238889  | 61.138889  | 73.819444  | 75.986667  | 74.941667  | 71.790333  | 72.923333  | 63.6222222 | 63.3305556 | 70.7625    | 72.144444  | 71.010833  | 71.3405556 | 81.9430556 |
| 12 | 28  | 74.6097222 | 78.973611  | 81.058889  | 64.961111  | 59.261111  | 83.608333  | 83.622222  | 76.4935556 | 78.1325    | 78.4525    | 63.8055556 | 63.611111  | 77.8541667 | 76.525     | 75.230556  | 73.591667  | 83.8847222 |
| 13 | 29  | 77.9263889 | 80.360556  | 82.013889  | 83.622222  | 57.1055556 | 83.952778  | 86.9305556 | 76.561111  | 81.678333  | 81.1225    | 62.766667  | 65.5305556 | 61.244444  | 78.920333  | 79.004444  | 76.4875    | 84.2013889 |
| 14 | 30  | 83.477778  | 84.677778  | 85.852778  | 82.691667  | 75.819444  | 84.216667  | 83.5055556 | 80.9138889 | 84.438889  | 83.9597222 | 65.2472222 | 66.6527778 | 83.166667  | 81.288889  | 82.788889  | 82.1       | 84.416667  |
| 15 | 31  | 81.463889  | 81.538889  | 83.3       | 85.411111  | 57.377778  | 80.313889  | 87.8902778 | 79.675     | 79.4430556 | 83.0527778 | 69.941667  | 64.684444  | 81.827778  | 79.120833  | 79.925     | 82.2875    | 83.9902778 |
| 16 | 32  | 78.416444  | 79.152778  | 83.9125    | 70.2       | 58.544444  | 78.425     | 84.372222  | 78.0296111 | 77.45      | 81.383333  | 68.511111  | 81.861111  | 82.0041667 | 77.85      | 78.3791667 | 82.775     | 81.475     |
| 17 | 33  | 73.897222  | 77.794444  | 80.820833  | 67.7       | 60.222222  | 78.180556  | 79.934722  | 73.680111  | 73.856444  | 80.931111  | 64.402778  | 58.972222  | 80.347222  | 78.8120556 | 73.961111  | 81.194667  | 78.909444  |
| 18 | 34  | 65.775     | 72.394444  | 76.861111  | 61.477778  | 71.533333  | 77.272222  | 75.677778  | 70.872222  | 76.469444  | 63.175     | 57.4555556 | 73.9191667 | 74.593333  | 74.644444  | 74.322222  | 74.338889  | 71.555556  |
| 19 | 35  | 65.036111  | 69.603333  | 67.598611  | 65.491667  | 62.431944  | 61.883333  | 77.036111  | 68.241667  | 68.4305556 | 72.914444  | 62.433333  | 55.611111  | 68.194444  | 72.936111  | 75.555556  | 73.769444  | 71.155556  |
| 20 | 36  | 64.258333  | 71.0175    | 64.230556  | 63.4       | 59.670833  | 62.7791667 | 72.673611  | 67.583333  | 68.558333  | 66.9291667 | 63.666667  | 53.383333  | 64.9847222 | 69.4125    | 72.466667  | 73.769444  | 68.5125    |
| 21 | 37  | 65.995833  | 72.748611  | 65.311111  | 60.958333  | 54.577778  | 69.2552778 | 69.648611  | 65.29      | 67.156444  | 68.768556  | 66.225     | 59.525     | 64.249333  | 66.0555556 | 67.3       | 73.597222  | 66.5305556 |
| 22 | 38  | 67.1541667 | 72.0541667 | 67.958333  | 61.938889  | 52.141667  | 62.298333  | 66.840811  | 64.991667  | 64.4291667 | 65.650333  | 67.561111  | 64.533333  | 63.044444  | 64.263889  | 64.973811  | 67.277778  | 68.220833  |
| 23 | 39  | 64.513889  | 70.322222  | 69.422222  | 63.450333  | 58.891667  | 61.922222  | 62.061111  | 62.6402778 | 62.658333  | 64.086111  | 65.402778  | 63.644444  | 61.844444  | 63.902778  | 61.930556  | 68.8625    | 64.4541667 |
| 24 | 40  | 63.4125    | 64.528889  | 65.2513889 | 63.080556  | 63.333333  | 61.933333  | 60.8291667 | 61.6805556 | 58.7305556 | 60.7855556 | 63.0972222 | 62.5222222 | 61.430556  | 61.813889  | 64.598333  | 67.241667  | 64.111111  |

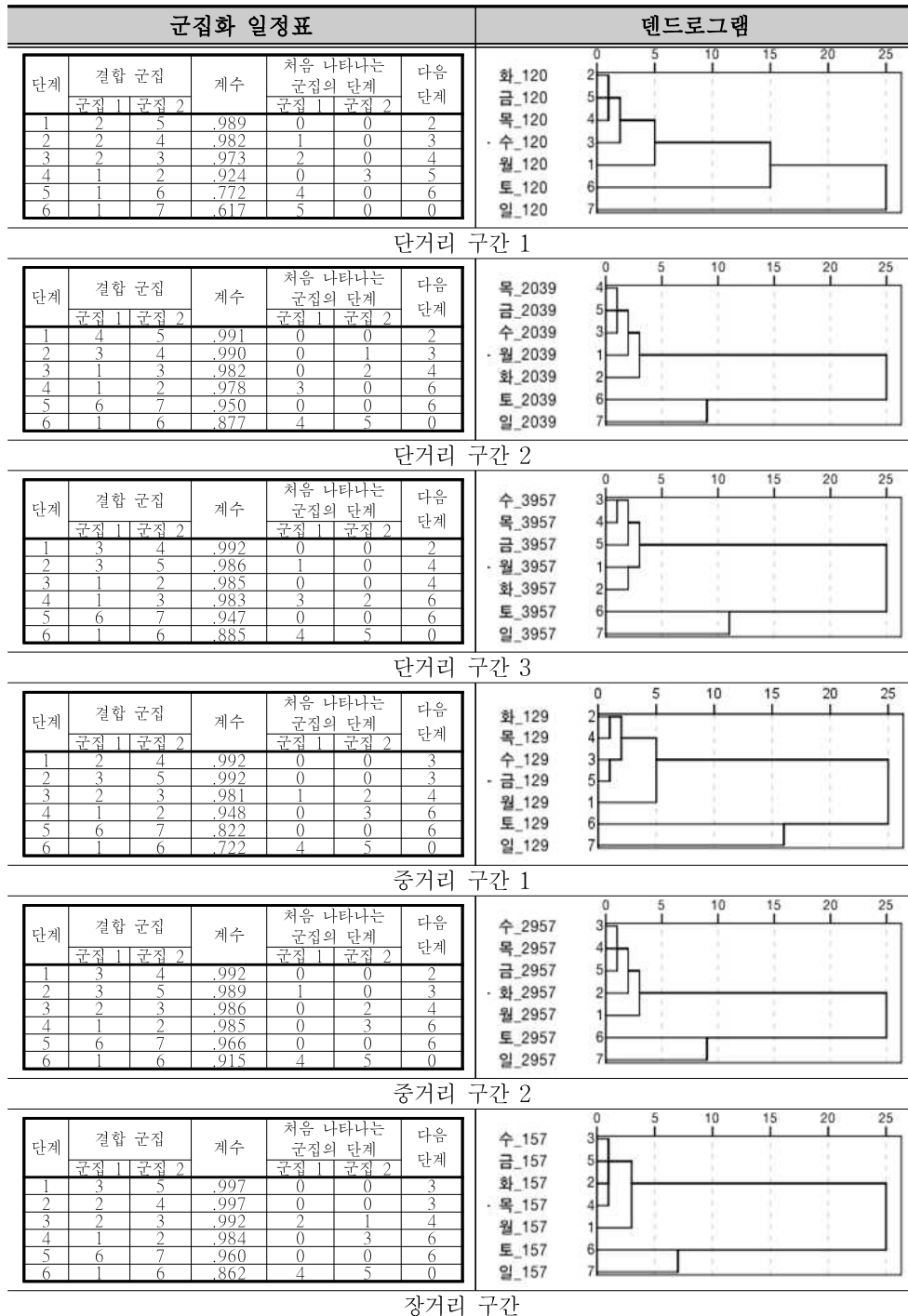
<그림 4-1> 시간단위(S)별 통행시간 구축자료 예시(장거리)

여섯 개의 분석구간에 대하여 <그림 4-1>의 형태로 통행시간자료를 구축한 후, 평균연결법을 이용하여 요일 및 월간 군집분석을 수행하였다.

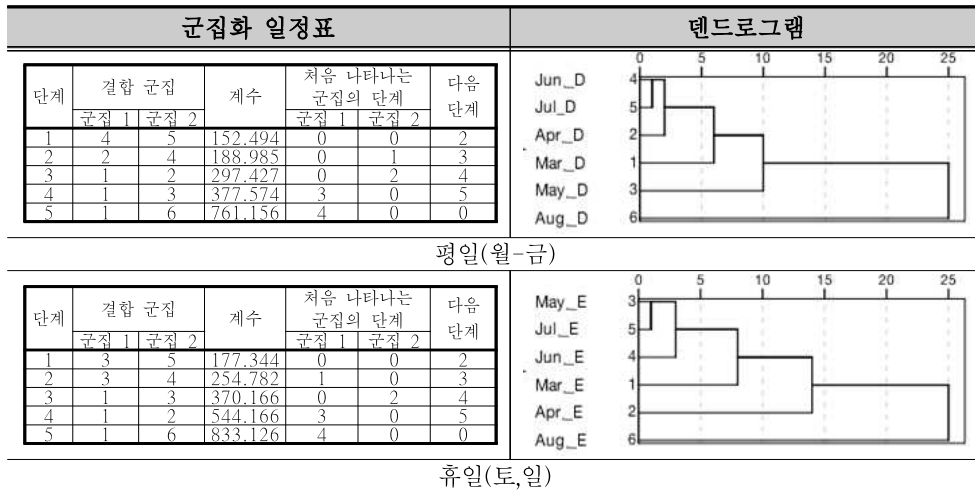
월요일부터 일요일까지의 요일간 군집분석결과 [표 4-2]와 같이 모든 분석구간에서 평일(월~금)과 휴일(토, 일)이 명확하게 구분되었다.

장거리구간 통행시간 자료 기준으로 3월부터 8월까지의 월간 군집분석결과, 평·휴일 구분 없이 8월의 특성이 가장 눈에 띄게 차이 났다. 또한 4월과 5월은 비교적 평일과 휴일의 차이가 비교적 크게 나타났으며, 이는 [표 4-3]에서 확인할 수 있다. 이와 같은 이유로, 8월 이력자료를 제외시키고 BIS 장기이력자료를 구축하였다.

[표 4-2] 요일간 군집분석 결과



[표 4-3] 월간 군집분석 결과(장거리)



### 3. 시나리오 설정

관측일은 [표 4-4]와 같이 총 네 가지 Case로 구분하여 분석을 수행하였다. 군집분석 결과 특히 4월에 평일과 휴일의 구분이 명확하게 나타났으므로 4월의 평일과 휴일을 각각 평일의 대표와 휴일의 대표 관측일로 선정하였다. 그리고 랜덤한 평일과의 통행시간 예측 정확도를 비교하기 위하여 통행시간의 표준편차가 큰 시간단위( $S_x$ )가 가장 많은 날과 강수일을 관측일로 선택하였다.

[표 4-4] 분석 시나리오 설정

| Case | 관측일        | 날씨 | 시나리오 설정 이유                      |
|------|------------|----|---------------------------------|
| 1    | 4월4일(수요일)  | 맑음 | Case 2와의 비교를 위해 같은 달의 같은 요일 선정  |
| 2    | 4월18일(수요일) | 맑음 | 표준편차가 큰 시간단위가 가장 많음             |
| 3    | 7월6일(금요일)  | 비  | 날씨의 영향을 받은 날, 일 강수량 138.4mm를 기록 |
| 4    | 4월7일(토요일)  | 맑음 | Case 1과 인접한 주말                  |

## 제2절 통행시간 예측 및 평가

### 1. 확률적 통행시간 예측방법 적용

본 절에서는 실제 BIS 수집 자료를 활용하여 통행시간 자료를 구축하고, 본 연구에서 제안하는 확률과정 기반의 예측방법을 포함, 총 네 가지 방법을 적용하여 선정된 구간의 버스 통행시간 예측을 수행한다. 비교 예측방법으로는 계절성 ARIMA 모형과 과거 이력자료의 평균값, 그리고 포털사이트에서 제공 하는 통행시간정보를 사용하며, 각 방법의 예측 통행시간을 실제 통행시간과 비교하고 그 정확도를 평가 한다.

확률과정 기반의 예측에서 사용되는 이력자료의 수  $n$ 은 최적값을 찾기 위해 2, 4, 5, 10 으로 조정하여 예측의 민감도 분석을 실시하였다. 예측에 사용되는 통행시간 자료는 통행완료시점의 순서와 상관없이 반영 비중을 동일하게 적용하였으며, 본 연구에서는  $n=4$ 를 적용하여 예측 정확도를 평가하였다.  $n$ 의 설정에 따른 예측 결과는 <부록 A>를 참조 한다. 계절성 ARIMA 모형은 노선구간 및 교통상태에 따라 달리 적용되며, 각 모형에 사용되는 차수는 'SPSS 20'에서 제공하는 자동모형생성 기능을 이용하여 <부록 B>와 같이 동정하였다. 과거 이력자료의 평균값은 기초자료로 사용된 장기 이력자료들의 시간단위( $S_x$ )별 산술평균값을 의미하며, 포털사이트의 통행시간정보는 포털사이트의 길찾기 서비스가 제공하는 버스 통행시간 정보를 사용하였다.

[표 4-5]부터 [표 4-28]은 네가지의 방법을 이용하여 예측한 결과를 MAPE, MAE, 그리고 RMSE를 사용하여 평가한 결과이며, (1)확률과정 기반의 예측, (2)계절성 ARIMA 모형을 활용한 예측, (3)이력자료의 평균, (4)포털사이트 제공정보의 순서로 구성하였다. MAPE 결과를 주요 판단 기준으로 사용하였으며, MAE와 RMSE 결과는 보조 자료로 사용하였다.

정확도 평가 범위는 오전 6시 정각( $S_{24}$ )부터 22시 45분( $S_{90}$ )이며, 오전 첨두시( $S_{28} \sim S_{36}$ ), 오후 비첨두시( $S_{48} \sim S_{56}$ ), 오후 첨두시( $S_{68} \sim S_{76}$ )로 나누어 시간대별 예측 정확도를 평가하였다.

## 2. 예측 통행시간 평가

### 1) Case 1. 평일

#### (1) 단거리

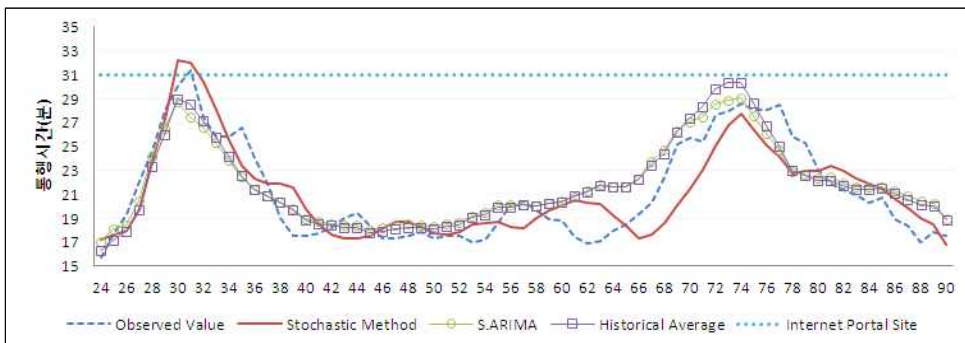
##### ① 안동포교회-서해아파트

해당 구간은 노선의 기점을 포함하며, 평일의 평균 통행시간은 약 22분( $\sigma=3.60$ )이고 Case 1의 하루 평균 통행시간은 약 21분( $\sigma=4.16$ )이다.

확률과정 기반의 예측방법을 사용한 결과는 오전 침두시와 오후 비침두시에 오차율 5% 내외로, 같은 시간대의 계절성 ARIMA 모형을 이용한 예측결과나 이력자료의 평균값보다 오차가 작았다. 오후 침두시에는 확률과정 기반의 방법이 오차율 10%를 상회하며 허용범위를 초과하였다. 포털사이트의 통행시간정보는 침두시의 통행시간을 기준으로 동일한 정보를 제공하고 있기 때문에 전 시간대에 걸쳐 10% 이상의 높은 오차율을

[표 4-5] 단거리(안동포교회-서해아파트), Case1의 예상 통행시간 검증

| 구분    | MAPE(%)           |        |                    |                      | MAE(분'초")         |        |                    |                      | RMSE(%)           |        |                    |                      |
|-------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|
|       | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site |
| 전체    | 7.954             | 8.058  | 7.903              | 50.793               | 1'41"             | 1'39"  | 1'38"              | 9'44"                | 2.053             | 2.012  | 1.978              | 10.563               |
| 오전침두  | 5.881             | 6.539  | 6.016              | 13.751               | 1'37"             | 1'50"  | 1'40"              | 3'37"                | 1.923             | 2.265  | 2.060              | 4.118                |
| 오후비침두 | 3.797             | 7.607  | 6.509              | 76.357               | 0'40"             | 1'20"  | 1'08"              | 13'25"               | 0.838             | 1.448  | 1.281              | 13.418               |
| 오후침두  | 10.680            | 4.724  | 6.911              | 18.153               | 2'43"             | 1'11"  | 1'05"              | 4'37"                | 3.073             | 1.362  | 1.938              | 5.006                |



<그림 4-2> 단거리(안동포교회-서해아파트), Case1의 예측통행시간 그래프



보였으며, 특히 교통량이 상대적으로 적은 오후 비첨두시에는 70% 이상의 오차율을 보였다. 다른 Case 에서도 동일한 이유로 포털사이트의 통행시간 정보가 네 가지 방법 중 가장 예측 정확도가 낮았기 때문에 이하 Case 에서는 포털사이트에서 제공하는 정보에 대한 분석은 생략한다.

그리고 오후 첨두시의 예측결과는 예측에 사용되는 이력자료의 수  $n$ 에 민감하였다.  $n$ 이 2일 때를 제외하고는 10%이상의 오차율로 허용치를 벗어났으며,  $n$ 이 커질수록 오차는 더욱 증가하였다.

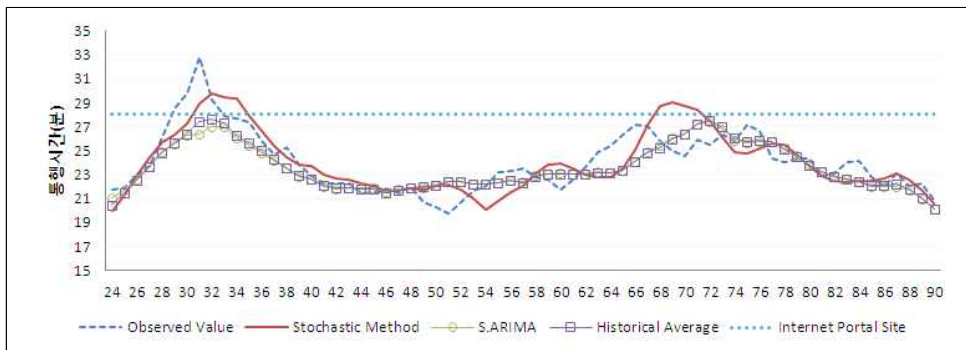
## ② 서해아파트-오조산공원

해당 구간의 평균 통행시간은 평일 기준 약 23분 40초( $\sigma=1.93$ )이고, Case 1의 하루 평균 통행시간은 약 24분( $\sigma=2.53$ )이다.

확률과정기반 예측 결과, 계절성 ARIMA 모델을 이용한 예측결과, 그리고 이력자료의 평균값은 전 시간대에 걸쳐 오차율 10% 이내로 우수

[표 4-6] 단거리(서해아파트-오조산공원), Case1의 예상 통행시간 검증

| 구분    | MAPE(%)           |        |                    |                      | MAE(분'초)          |        |                    |                      | RMSE(%)           |        |                    |                      |
|-------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|
|       | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site |
| 전체    | 5.066             | 4.538  | 4.369              | 18.264               | 1'14"             | 1'08"  | 1'05"              | 4'10"                | 1.604             | 1.557  | 1.462              | 4.654                |
| 오전첨두  | 5.636             | 8.769  | 7.700              | 4.724                | 1'40"             | 2'04"  | 2'17"              | 1'25"                | 2.001             | 3.092  | 2.699              | 2.007                |
| 오후비첨두 | 6.720             | 5.414  | 5.388              | 31.766               | 1'26"             | 1'07"  | 1'07"              | 6'04"                | 1.624             | 1.399  | 1.391              | 6.780                |
| 오후첨두  | 9.479             | 4.226  | 4.389              | 8.836                | 2'25"             | 1'05"  | 1'07"              | 2'15"                | 2.742             | 1.267  | 1.273              | 2.376                |



<그림 4-3> 단거리(서해아파트-오조산공원), Case1의 예측통행시간 그래프

하게 예측하였다. 이는 Case 1 해당 구간의 통행시간 표준편차와 이력자료의 평균표준편차의 차이가 크지 않기 때문으로 분석된다.

확률과정 기반의 예측결과는 예측에 사용하는 이력자료의 수  $n$ 에 민감하지 않았다.

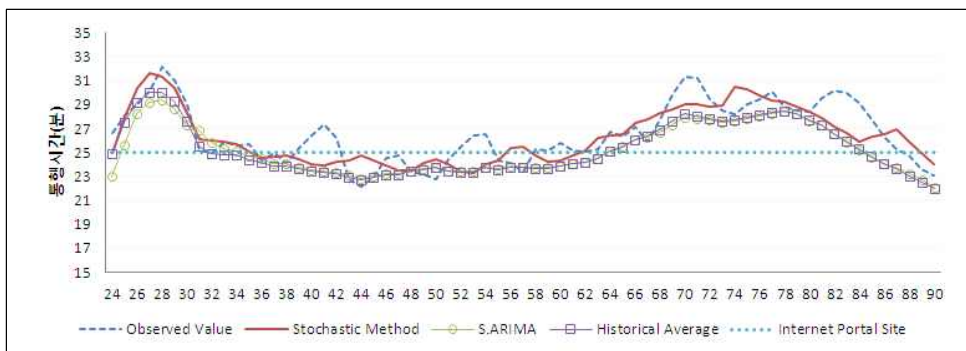
### ③ 오조산공원-부개성일아파트

해당 구간은 노선의 회차지점에 인접하며, 평일의 평균 통행시간은 약 25분 20초( $\sigma=2.14$ )이고, Case 1의 하루 평균 통행시간은 약 26분 20초( $\sigma=2.48$ )이다.

해당 구간은 예측에 사용한 네 방법 모두 하루 기준 오차율 10% 이내로 양호한 결과를 보였으며, 특히 확률과정기반의 예측, 계절성 ARIMA모형을 사용한 예측, 이력자료기반의 평균값은 시간대와 관계없이 오차율 5% 내외로 절대오차 2분이내의 우수한 예측을 하였다.

[표 4-7] 단거리(오조산공원-부개성일아파트), Case1의 예상 통행시간 검증

| 구분    | MAPE(%)           |        |                    |                      | MAE(분'초")         |        |                    |                      | RMSE(%)           |        |                    |                      |
|-------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|
|       | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site |
| 전체    | 4.447             | 5.605  | 5.183              | 8.050                | 1'11"             | 1'32"  | 1'25"              | 2'16"                | 1.491             | 1.869  | 1.754              | 2.930                |
| 오전첨두  | 2.215             | 5.079  | 3.948              | 8.157                | 0'37"             | 1'26"  | 1'07"              | 2'28"                | 0.698             | 1.629  | 1.289              | 3.622                |
| 오후비첨두 | 5.539             | 5.486  | 5.487              | 5.346                | 1'23"             | 1'23"  | 1'23"              | 1'17"                | 1.755             | 1.705  | 1.733              | 1.433                |
| 오후첨두  | 4.550             | 6.125  | 5.539              | 14.849               | 1'21"             | 1'50"  | 1'40"              | 4'25"                | 1.553             | 2.115  | 1.940              | 4.583                |



<그림 4-4> 단거리(오조산공원-부개성일아파트), Case1의 예측통행시간 그래프

다만, <그림 4-4>와 같이 확률과정 기반의 예측은 ‘시간처짐현상’의 발생으로 시간차이를 두고 관측값의 통행속도의 흐름을 따라가는 경향을 보이는데, 이 과정에서 예측의 오차가 증가한 것으로 분석된다. 이 경우 확률과정기반 예측에 사용하는 이력자료  $n$ 은 그 수가 증가할수록 예측 오차값이 작아진다. 그렇지만 예측의 정확도가 가장 높을 때( $n=10$ )와 낮을 때( $n=2$ )의 차이는 오차를 1% 내외로, 해당구간 기준, 약 15초가량의 무의미한 수준이다.

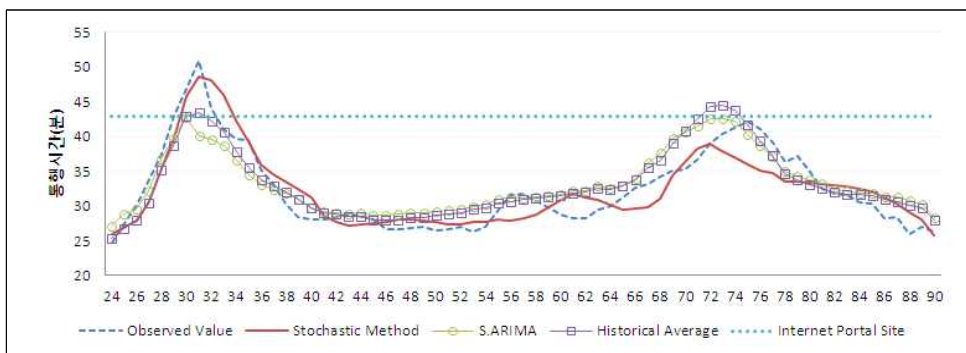
## (2) 중거리

### ① 안동포교회-공촌정수장

해당 구간은 노선의 기점을 포함하며, 평일의 평균 통행시간은 약 33분 10초( $\sigma=4.99$ )이고, Case 1의 하루 평균 통행시간은 약 32분 30초( $\sigma=5.81$ )이다.

[표 4-8] 중거리(안동포교회-공촌정수장), Case1의 예상 통행시간 검증

| 구분    | MAPE(%)           |        |                    |                      | MAE(분'초")         |        |                    |                      | RMSE(%)           |        |                    |                      |
|-------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|
|       | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site |
| 전체    | 6.164             | 7.323  | 6.477              | 36.859               | 2'02"             | 2'23"  | 2'08"              | 10'53"               | 2.481             | 2.901  | 2.618              | 11.984               |
| 오전첨두  | 5.942             | 9.477  | 7.369              | 7.828                | 2'31"             | 4'13"  | 3'15"              | 3'23"                | 2.918             | 5.025  | 3.801              | 4.096                |
| 오후비첨두 | 3.651             | 9.622  | 7.580              | 58.953               | 0'59"             | 2'35"  | 2'02"              | 15'55"               | 1.040             | 2.655  | 2.142              | 15.945               |
| 오후첨두  | 6.226             | 9.198  | 10.253             | 13.782               | 2'26"             | 3'23"  | 3'49"              | 4'59"                | 3.104             | 3.699  | 4.182              | 5.770                |



<그림 4-5> 중거리(안동포교회-공촌정수장), Case1의 예측통행시간 그래프

확률과정 기반의 예측값, 계절성 ARIMA 모형을 이용한 예측값, 이력자료의 평균값의 하루 기준 통행시간 예측 오차율은 10%미만으로 양호한 수준을 보였다. 확률과정기반 예측 결과와 계절성 ARIMA 모형의 예측값은 시간대와 상관없이 허용오차범위 내의 오차율을 보였다. 이력자료 평균은 오후 침두시에 10% 이상의 오차율을 보였으며 오차율이 가장 낮은 확률과정 기반의 예상 통행시간과 약 1분 30초의 차이를 보였다.

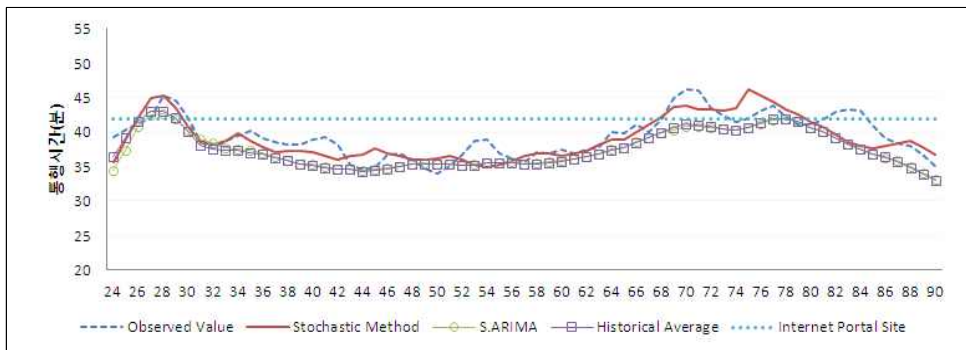
## ② 공촌정수장-부개성일아파트

해당 구간은 노선의 회차지점에 인접하며, 평일의 평균 통행시간은 약 37분 30초( $\sigma=2.65$ )이고 Case 1의 하루 평균 통행시간은 약 39분 30초( $\sigma=3.03$ )이다.

확률과정 기반의 예측, 계절성 ARIMA모형을 사용한 예측, 이력자료의 평균값을 사용한 예측결과는 하루 기준 오차율 5% 내외로 양호하였다.

[표 4-9] 중거리(공촌정수장-부개성일아파트), Case1의 예상 통행시간 검증

| 구분    | MAPE(%)           |        |                    |                      | MAE(분'초")         |        |                    |                      | RMSE(%)           |        |                    |                      |
|-------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|
|       | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site |
| 전체    | 3.582             | 5.183  | 5.100              | 8.754                | 1'26"             | 2'05"  | 2'03"              | 3'02"                | 1.864             | 2.516  | 2.450              | 3.939                |
| 오전침두  | 1.622             | 4.281  | 4.164              | 6.739                | 0'40"             | 1'47"  | 1'44"              | 2'43"                | 0.882             | 1.993  | 1.976              | 2.971                |
| 오후비침두 | 5.016             | 4.312  | 4.374              | 15.707               | 1'51"             | 1'37"  | 1'38"              | 5'37"                | 2.225             | 1.954  | 1.986              | 5.871                |
| 오후침두  | 3.952             | 6.907  | 6.558              | 3.810                | 1'43"             | 3'04"  | 2'55"              | 1'43"                | 2.120             | 3.454  | 3.287              | 2.369                |



<그림 4-6> 중거리(공촌정수장-부개성일아파트), Case1의 예측통행시간 그래프

이는 Case 1 구간2(서해아파트-공촌정수장)와 같이 통행시간 표준편차와 이력자료의 평균표준편차의 차이가 크지 않기 때문에 분석된다.

확률과정 기반의 예측에서, 예측의 정확도는 예측에 사용한 이력자료의 수  $n$ 에 민감하지 않았다.

### (3) 장거리

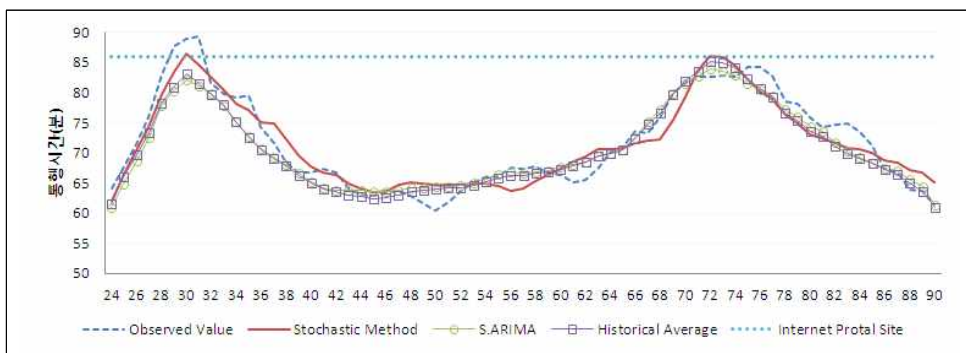
#### ① 안동포교회-부개성일아파트

해당 구간은 분석대상의 상행노선 전체구간으로(회차지점 제외) 통행시간은 평일의 평균 통행시간은 약 70분 45초( $\sigma=6.97$ )이고, Case 1의 하루 평균 통행시간은 약 72분( $\sigma=7.90$ )이다.

장거리의 예측은 하루 기준 오차율 5% 이내, 주요 시간대별 오차율 5% 내외로 중·단 거리의 예측에 비하여 정확도 높은 예측결과를 보였다.

[표 4-10] 장거리(안동포교회-부개성일아파트), Case1의 예상 통행시간 검증

| 구분    | MAPE(%)           |        |                    |                      | MAE(분'초")         |        |                    |                      | RMSE(%)           |        |                    |                      |
|-------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|
|       | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site |
| 전체    | 3.084             | 2.723  | 2.776              | 21.161               | 2'14"             | 2'01"  | 2'04"              | 14'17"               | 2.564             | 2.761  | 2.706              | 16.085               |
| 오전첨두  | 2.869             | 6.179  | 5.891              | 5.315                | 2'27"             | 5'14"  | 4'59"              | 4'22"                | 2.817             | 5.729  | 5.429              | 4.721                |
| 오후비첨두 | 3.335             | 2.409  | 2.127              | 35.661               | 2'05"             | 1'29"  | 1'19"              | 22'32"               | 2.453             | 2.010  | 1.750              | 22.631               |
| 오후첨두  | 3.384             | 1.046  | 1.615              | 5.548                | 2'44"             | 0'52"  | 1'20"              | 4'27"                | 2.957             | 1.212  | 1.563              | 5.043                |



<그림 4-7> 장거리(안동포교회-부개성일아파트), Case1의 예측통행시간 그래프

확률과정기반 예측에 사용되는 이력자료의 수  $n$ 은 평일 예상통행시간의 특성대로 개수에 상관없이 양호한 예측을 하였다. 이는 평일의 장거리 이력 이므로 일부구간에서의 통행속도 조절이 전체 통행시간 예측에 영향을 덜 미치기 때문인 것으로 보인다.

## 2) Case 2. 돌발상황 발생일

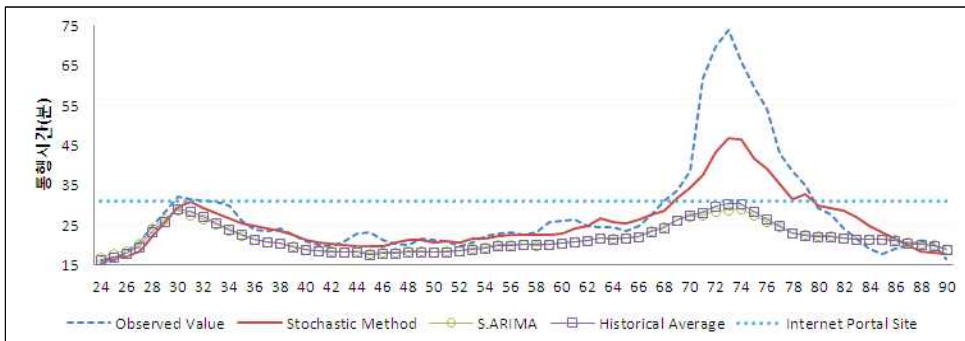
### (1) 단거리

#### ① 안동포교회-서해아파트

해당 구간은 평일의 평균 통행시간은 약 22분( $\sigma=3.60$ )이고 Case 2의 하루 평균 통행시간은 약 28분( $\sigma=12.80$ )으로 Case 1의 동일 구간 보다 통행시간 편차가 크다. <그림 4-8>과 같이 오후 침두시에 관측값이 예측값을 크게 상회하므로 돌발 상황이 발생시로 추측할 수 있다.

[표 4-11] 단거리(안동포교회-서해아파트), Case2의 예상 통행시간 검증

| 구분    | MAPE(%)           |        |                    |                      | MAE(분'초")         |        |                    |                      | RMSE(%)           |        |                    |                      |
|-------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|
|       | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site |
| 전체    | 9.892             | 17.644 | 17.660             | 36.940               | 3'40"             | 6'40"  | 6'04"              | 9'59"                | 7.063             | 12.013 | 11.704             | 13.044               |
| 오전침두  | 7.112             | 12.491 | 12.058             | 7.950                | 2'05"             | 3'45"  | 3'35"              | 2'08"                | 2.268             | 4.112  | 3.808              | 3.005                |
| 오후비침두 | 3.282             | 10.896 | 11.805             | 46.119               | 0'41"             | 2'20"  | 2'32"              | 9'44"                | 0.757             | 2.448  | 2.640              | 9.789                |
| 오후침두  | 24.691            | 44.734 | 43.702             | 36.664               | 15'29"            | 26'55" | 26'01"             | 23'23"               | 18.550            | 30.732 | 29.809             | 28.369               |



<그림 4-8> 단거리(안동포교회-서해아파트), Case2의 예측통행시간 그래프

확률과정 기반의 예측결과는 돌발 상황 발생 집중시간이라고 판단되어지는 오후 침두시에 20%이상의 오차율로 허용범위를 초과하였다. 그렇지만 <그림 4-8>의 시간단위  $S_{68} \sim S_{78}$  구간과 같이 관측일의 패턴을 따라 통행시간을 예측하였고, 오후 침두시를 제외한 하루 전반의 통행시간 오차율은 10% 이내로 허용범위내의 값을 보였다. 반면, 계절성 ARIMA모형을 사용한 예측, 이력자료의 평균값을 사용한 예측은 하루 기준 오차율 17% 이상으로 하루 전반에 걸쳐 적절하지 못한 예측값을 도출하였다. 특히 오후침두시에는 오차율 40% 이상으로, 관측값과 약 25분 이상의 통행시간 차이를 보였다.

확률과정 기반의 예측에 사용되는 이력자료의 수  $n$ 은 돌발상황 발생 시간대인 오후 침두시 예측의 정확도에 큰 영향을 미치지 못하였다. 그러나 오전 침두시에는 다소 민감하게 영향을 미쳐서  $n$ 이 커질수록 오차율이 높아졌으며  $n=10$  일 경우만 제외하고 오차율 10%이내로 예측하였다.

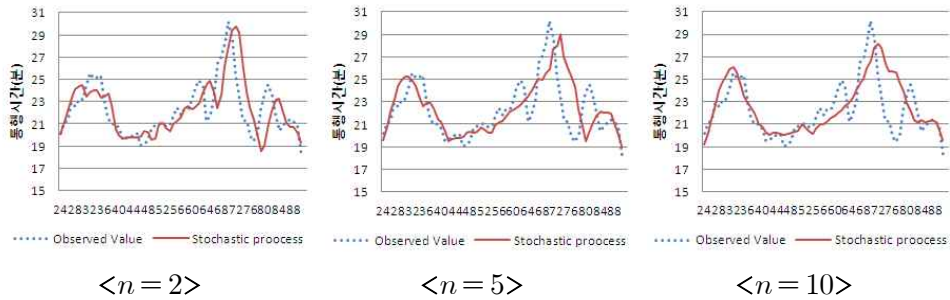
## ② 서해아파트-오조산공원

해당 구간은 평일의 평균 통행시간은 약 23분 40초( $\sigma=1.93$ )이고 Case 2의 하루 평균 통행시간은 약 22분 20초( $\sigma=2.44$ )으로 이전 구간(안동포교회-서해아파트)에 비하여 통행시간 편차가 크지 않다.

확률과정기반 예측 결과, 계절성 ARIMA 모형을 이용한 예측결과, 이력자료의 평균값의 하루 기준의 예측 정확도는 오차율 10% 미만으로 양호하지만, 오후 침두시의 예측에서 모두 오차 허용범위를 벗어났다. 이는 확률과정 기반의 예측은 시간의 흐름에 따른 관측값 변동이 큰 구간에서 시간처짐현상이 발생하여 오차가 커진 것으로 분석된다. <그림 4-9>는  $n$ 에 따른 통행시간 예측값과 관측값의 차이를 보여준다.  $n$ 이 작을수록 예측 그래프의 형태는 관측값과 비슷하게 그려지나, 시간처짐현상으로 오차가 크게 발생함을 확인 할 수 있다. 또한  $n$ 이 클수록 예측결과는 시간의 흐름에 따라 변곡점의 기울기가 작은 것을 확인할 수 있다.

[표 4-12] 사용 이력자료 수  $n$ 에 따른 MAPE(%)

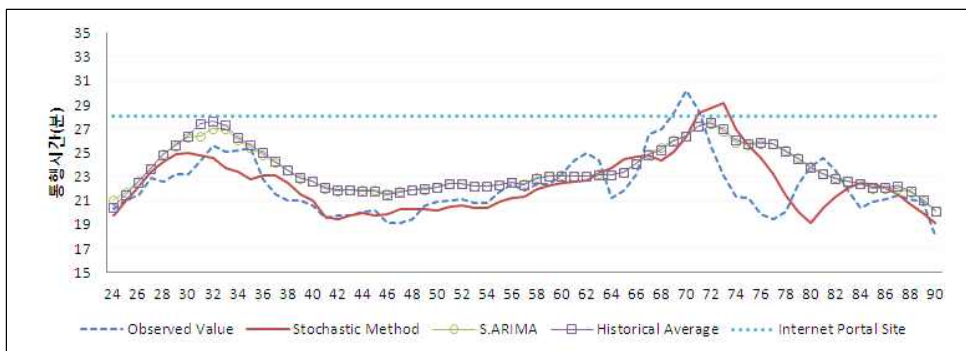
| 구분    | $n = 2$ | $n = 5$ | $n = 10$ |
|-------|---------|---------|----------|
| 전체    | 6.305   | 6.682   | 6.778    |
| 오전첨두  | 5.694   | 6.343   | 6.533    |
| 오후비첨두 | 2.767   | 2.681   | 2.720    |
| 오후첨두  | 13.327  | 14.998  | 14.807   |



<그림 4-9> 사용 이력자료 수  $n$ 에 따른 확률과정기반 예측통행시간 그래프

[표 4-13] 단거리(서해아파트-오조산공원), Case2의 예상 통행시간 검증

| 구분    | MAPE(%)           |        |                    |                      | MAE(분'초")         |        |                    |                      | RMSE(%)           |        |                    |                      |
|-------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|
|       | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site |
| 전체    | 6.682             | 8.267  | 8.444              | 27.236               | 1'31"             | 1'05"  | 1'50"              | 5'47"                | 2.074             | 2.216  | 2.266              | 6.193                |
| 오전첨두  | 6.343             | 7.387  | 8.689              | 15.369               | 1'32"             | 1'46"  | 2'05"              | 3'41"                | 1.655             | 1.975  | 2.281              | 3.842                |
| 오후비첨두 | 2.681             | 6.719  | 6.677              | 34.654               | 0'34"             | 1'23"  | 1'23"              | 7'11"                | 0.588             | 1.463  | 1.451              | 7.213                |
| 오후첨두  | 14.998            | 12.031 | 12.482             | 13.521               | 3'38"             | 2'56"  | 3'02"              | 3'07"                | 4.012             | 3.172  | 3.282              | 3.972                |



<그림 4-10> 단거리(서해아파트-오조산공원), Case2의 예측통행시간 그래프



### ③ 오조산공원-부개성일아파트

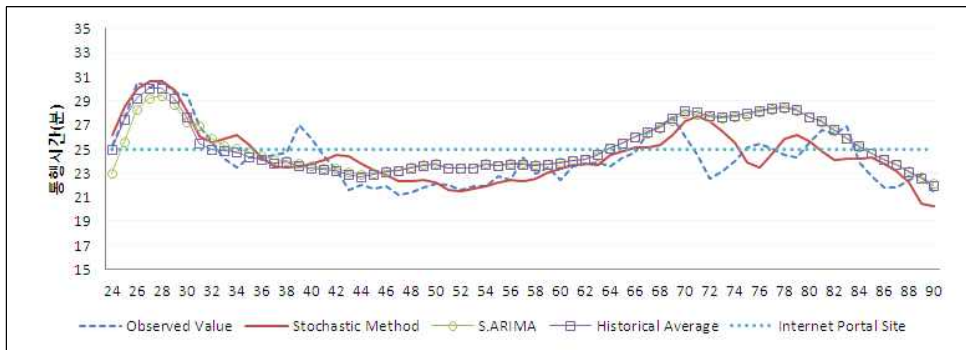
해당 구간의 평균 통행시간은 평일 기준 약 25분 20초( $\sigma=2.14$ )이고, Case 2의 하루 평균 통행시간은 약 24분 20초( $\sigma=2.37$ )이다.

확률과정 기반의 통행시간 예측은 전반적으로 허용오차 범위내의 결과를 보였다. 가장 오차율이 높은 오후 침두시도 시간차집현상 발생에 불구, 오차율 10%내로 양호하게 예측하였다. 계절성 ARIMA 모형의 예측값과 이력자료의 평균값은 오후 침두시에 오차율 10%로 허용범위를 초과하였다. 이는 이전 구간(안동포교회-서해아파트)에서 돌발 상황의 발생으로 지체된 버스들이 정시성을 확보하기 위해 해당 구간에서 속도를 높여 운행한 것이 원인으로 분석된다. 관측값이 이력자료의 평균값보다 빠른 시간동안 통행하고 있음을 <그림 4-11>에서 알 수 있다.

확률과정기반 예측의 정확도는 사용되는 이력자료의 수  $n$ 에 민감하지 않았다.

[표 4-14] 단거리(오조산공원-부개성일아파트), Case2의 예상 통행시간 검증

| 구분    | MAPE(%)           |        |                    |                      | MAE(분'초")         |        |                    |                      | RMSE(%)           |        |                    |                      |
|-------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|
|       | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site |
| 전체    | 4.824             | 6.381  | 6.035              | 8.383                | 1'10"             | 1'32"  | 1'26"              | 2'01"                | 1.526             | 1.901  | 1.866              | 2.442                |
| 오전침두  | 3.933             | 3.770  | 3.234              | 8.920                | 0'59"             | 1'01"  | 0'52"              | 2'32"                | 1.315             | 1.224  | 1.026              | 3.193                |
| 오후비침두 | 1.689             | 7.639  | 7.413              | 14.049               | 0'22"             | 1'40"  | 1'37"              | 3'04"                | 0.482             | 1.706  | 1.657              | 3.097                |
| 오후침두  | 9.491             | 11.314 | 11.630             | 5.794                | 2'17"             | 2'04"  | 2'46"              | 1'26"                | 2.610             | 3.198  | 3.320              | 1.673                |



<그림 4-11> 단거리(오조산공원-부개성일아파트), Case2의 예측통행시간 그래프

## (2) 중거리

### ① 안동포교회-공촌정수장

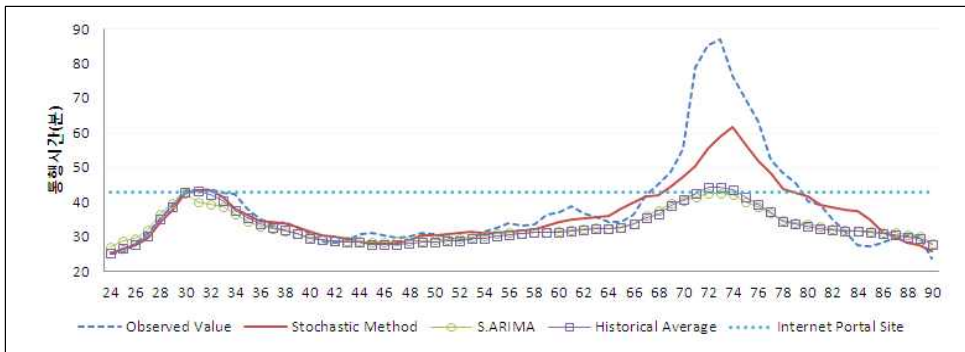
해당 구간의 평균 통행시간은 평일 기준 약 33분 10초( $\sigma=4.99$ )이고, Case 2의 하루 평균 통행시간은 약 38분 45초( $\sigma=13.90$ )이다.

확률과정 기반의 예측결과는 하루 기준 오차율 10% 미만으로 오차허용범위내 값을 예측 하였다. 그러나 계절성 ARIMA 모형을 이용한 예측결과와 이력자료의 평균값은 하루 기준 10%, 오후 침두시 기준 35% 이상의 오차율을 보이며 예측으로서 부적절한 결과를 도출하였다. 확률과정 기반의 예측 결과 역시 오후 침두시에 20%가 넘는 오차율이 발생하였으나, 다른 방법을 사용한 예측 결과보다 관측값과의 차이가 크지 않았다.

오차율이 큰 오후 침두시를 기준으로 볼 때, 확률과정 기반의 예측은 예측에 사용하는 이력자료의 개수  $n$ 은 2일 때 오차율 20% 미만으로 관측

[표 4-15] 중거리(안동포교회-공촌정수장), Case2의 예상 통행시간 검증

| 구분    | MAPE(%)           |        |                    |                      | MAE(분'초")         |        |                    |                      | RMSE(%)           |        |                    |                      |
|-------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|
|       | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site |
| 전체    | 8.023             | 12.130 | 11.719             | 30.905               | 3'49"             | 6'16"  | 6'03"              | 11'31"               | 7.234             | 11.750 | 11.372             | 14.439               |
| 오전침두  | 3.378             | 7.205  | 3.928              | 6.174                | 1'22"             | 3'01"  | 1'37"              | 2'21"                | 1.777             | 3.518  | 2.136              | 3.395                |
| 오후비침두 | 3.562             | 3.777  | 4.982              | 40.375               | 1'05"             | 1'10"  | 1'33"              | 12'20"               | 1.284             | 1.334  | 1.821              | 12.377               |
| 오후침두  | 21.448            | 37.232 | 36.444             | 33.444               | 16'11"            | 27'28" | 26'43"             | 25'23"               | 19.206            | 30.809 | 29.672             | 29.674               |



<그림 4-12> 중거리(안동포교회-공촌정수장), Case2의 예측통행시간 그래프

값과의 차이가 가장 적었으며 오차율이 가장 큰 경우( $n=5$ )와 약 2분의 차이를 보였다.

## ② 공촌정수장-부개성일아파트

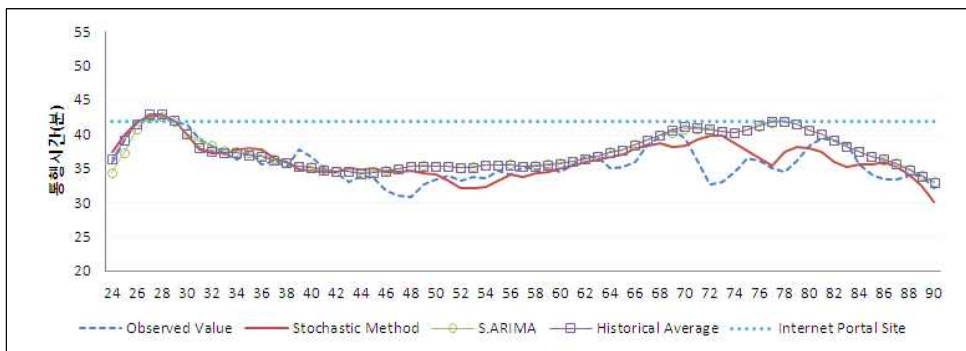
해당 구간의 평균 통행시간은 평일 기준 약 37분 30초( $\sigma=2.65$ )이고, Case 2의 하루 평균 통행시간은 약 36분( $\sigma=2.77$ )이다.

확률과정 기반의 예측 오차율은 하루기준 5%, 오후 침두시 기준 10% 미만으로 시간처집현상에도 불구하고, 전시간대에 걸쳐 적정한 예측값을 도출하였다. 계절성 ARIMA 모형의 예측값과 이력자료의 평균값은 일평균 오차율 약 5% 이지만, 오후 침두시에 오차 허용범위인 10%를 초과하였다.

오차율이 큰 오후 침두시를 기준으로 볼 때, 확률과정기반 예측에 사용하는 이력자료의 수  $n$ 은 2일 경우를 제외,  $n=3, n=4, n=5$  인 경우 모두 10%이내의 오차율을 보이며 비교적 정확하게 예측하였다.

[표 4-16] 중거리(공촌정수장-부개성일아파트), Case2의 예상 통행시간 검증

| 구분    | MAPE(%)           |        |                    |                      | MAE(분'초")         |        |                    |                      | RMSE(%)           |        |                    |                      |
|-------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|
|       | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site |
| 전체    | 4.338             | 5.409  | 5.304              | 17.457               | 1'31"             | 1'53"  | 1'50"              | 6'03"                | 2.051             | 2.700  | 2.698              | 6.623                |
| 오전침두  | 2.086             | 1.133  | 1.853              | 7.469                | 0'49"             | 0'26"  | 0'44"              | 2'49"                | 1.011             | 0.641  | 0.843              | 3.479                |
| 오후비침두 | 4.799             | 6.330  | 6.156              | 26.150               | 1'34"             | 2'04"  | 2'01"              | 8'40"                | 1.821             | 2.328  | 2.270              | 8.737                |
| 오후침두  | 9.526             | 11.382 | 11.626             | 15.346               | 3'19"             | 3'56"  | 4'01"              | 5'22"                | 4.032             | 4.833  | 4.926              | 6.072                |



<그림 4-13> 중거리(공촌정수장-부개성일아파트), Case2의 예측통행시간 그래프

### (3) 장거리

#### ① 안동포교회-부개성일아파트

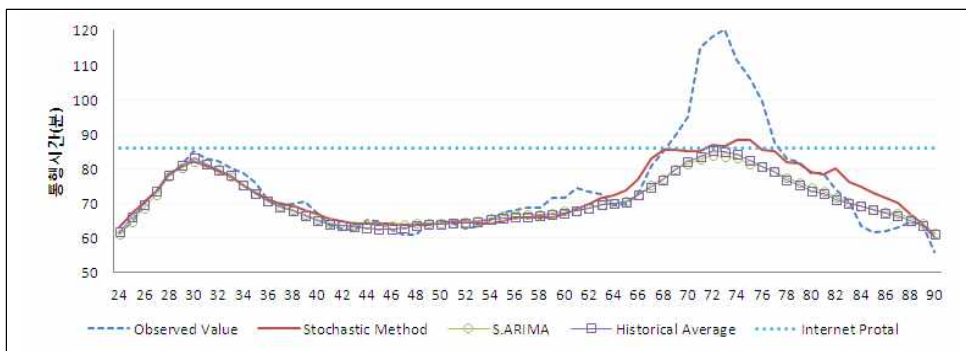
해당 구간의 평균 통행시간은 평일 기준 약 70분 45초( $\sigma=6.97$ )이고, Case 2의 하루 평균 통행시간은 약 74분 45초( $\sigma=14.38$ )이다.

확률과정 기반의 예측결과, 계절성 ARIMA 모델을 이용한 예측결과, 그리고 이력자료의 평균값은 일평균 오차율 5%내외의 높은 정확도를 보였다. 오후 침두시에는 확률과정기반 예측의 오차율이 약 17%로 가장 낮았으며, 오차율이 가장 높은 계절성 ARIMA 모형의 예측 결과와 비교하였을 때 약 5분의 차이를 보였다. Case 1은 장거리의 예측일수록 오차율이 낮은 경향을 보였던 반면, Case 2는 통행구간에 따라 장거리 예측의 오차율이 낮은 경우도, 높은 경우도 있었다.

확률과정기반 예측의 정확도는 사용되는 이력자료의 개수  $n$ 에 민감하지 않았다.

[표 4-17] 장거리(안동포교회-부개성일아파트), Case2의 예상 통행시간 검증

| 구분    | MAPE(%)           |        |                    |                      | MAE(분'초)          |        |                    |                      | RMSE(%)           |        |                    |                      |
|-------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|
|       | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site |
| 전체    | 5.542             | 5.828  | 5.791              | 23.056               | 4'43"             | 5'01"  | 5'09"              | 16'02"               | 8.591             | 9.664  | 9.413              | 18.188               |
| 오전침두  | 2.774             | 2.607  | 2.383              | 6.968                | 2'14"             | 2'01"  | 1'55"              | 5'31"                | 2.444             | 2.336  | 2.203              | 6.167                |
| 오후비침두 | 1.939             | 1.823  | 1.581              | 34.478               | 1'14"             | 1'09"  | 1'00"              | 22'00"               | 1.567             | 1.543  | 1.316              | 22.071               |
| 오후침두  | 16.622            | 21.290 | 20.732             | 17.114               | 18'43"            | 23'22" | 22'43"             | 19'15"               | 22.281            | 25.729 | 24.871             | 22.847               |



<그림 4-14> 장거리(안동포교회-부개성일아파트), Case2의 예측통행시간 그래프

### 3) Case 3. 강수일

#### (1) 단거리

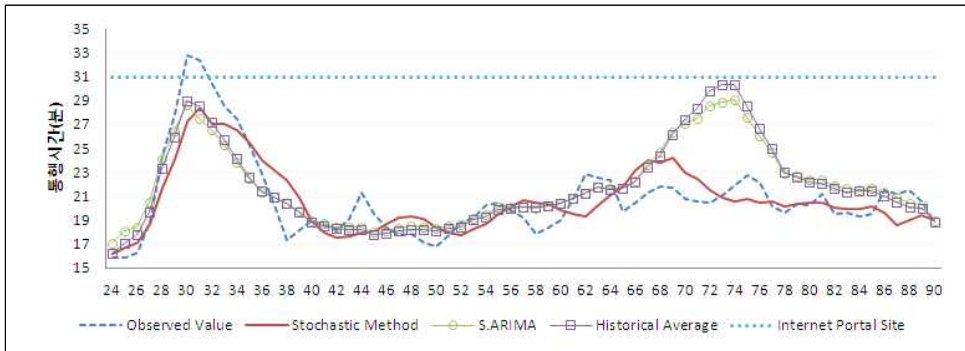
##### ① 안동포교회-서해아파트

해당 구간의 평균 통행시간은 평일 기준 약 22분( $\sigma=3.60$ )이고, Case 3의 하루 평균 통행시간은 약 20분 50초( $\sigma=3.47$ )이다.

강수일의 일평균 통행시간 예측 오차율은 확률과정기반 예측 결과, 계절성 ARIMA 모형을 이용한 예측결과, 이력자료의 평균값 모두 10% 내외로 우수하였다. 확률과정 기반의 예측방법은 관측 시간대에 관계없이 10%내의 오차율로 예측한 반면 계절성 ARIMA 모형을 이용한 예측결과와 이력자료의 평균값은 오후 침두시에 약 30%의 높은 오차율을 보였다. 이는 다음 구간(공촌정수장-부개성일아파트)인 강수일의 도심 교통류 특성을 반영하여 버스의 정시성을 유지하기 위해 해당 구간에서 통행속도를

[표 4-18] 단거리(안동포교회-서해아파트), Case3의 예상 통행시간 검증

| 구분    | MAPE(%)           |        |                    |                      | MAE(분'초")         |        |                    |                      | RMSE(%)           |        |                    |                      |
|-------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|
|       | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site |
| 전체    | 7.347             | 9.999  | 10.110             | 52.373               | 1'34"             | 2'07"  | 2'10"              | 10'14"               | 1.972             | 2.881  | 3.059              | 10.719               |
| 오전침두  | 9.248             | 10.123 | 9.678              | 11.734               | 2'44"             | 2'59"  | 2'49"              | 3'09"                | 3.210             | 3.297  | 2.946              | 3.697                |
| 오후비침두 | 6.587             | 3.829  | 3.648              | 67.931               | 1'13"             | 0'41"  | 0'40"              | 12'27"               | 1.315             | 0.846  | 0.775              | 12.518               |
| 오후침두  | 7.646             | 28.530 | 31.905             | 44.944               | 1'38"             | 6'04"  | 6'47"              | 9'35"                | 1.787             | 6.296  | 7.146              | 9.616                |



<그림 4-15> 단거리(안동포교회-서해아파트), Case3의 예측통행시간 그래프

조절하여 운행하였기 때문으로 분석된다. 이는 <그림 4-15> 오후 침두시의 관측값이 이력자료의 평균값보다 낮고, <그림 4-17>의 오후 침두시에 는 이력자료의 평균값이 관측값 보다 높은 것을 통해 확인할 수 있다.

예측에 사용되는 이력자료의 수  $n$ 은 오전과 오후 침두시의 통행시간 예측에 민감하게 영향을 미쳤다. 오전·오후 침두시 모두  $n$ 의 값이 커질수록 예측 정확도가 떨어졌으며  $n=10$ 의 경우만을 제외하고는 모두 10% 이내로 오차허용범위 내의 예측을 하였다.

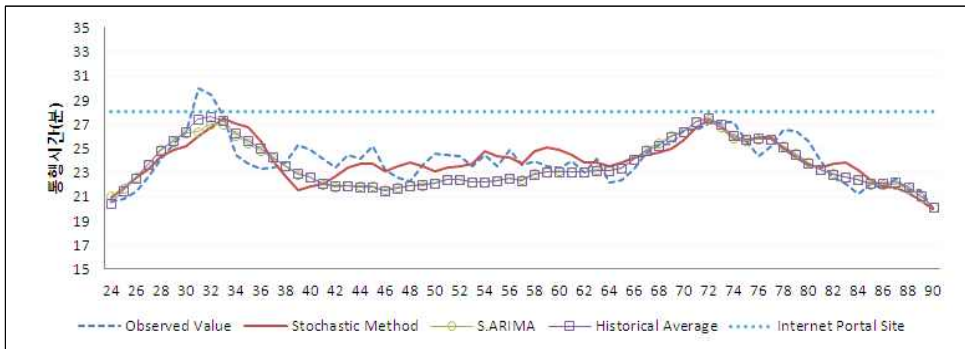
## ② 서해아파트-오조산공원

해당 구간의 평균 통행시간은 평일 기준 약 23분 40초( $\sigma=1.93$ )이고, Case 3의 하루 평균 통행시간은 약 24분( $\sigma=1.98$ )이다.

확률과정기반 예측 결과, 계절성 ARIMA 모델을 이용한 예측결과, 이력자료의 평균값 모두 일평균 오차율 5% 이내로 예측하였다.

[표 4-19] 단거리(서해아파트-오조산공원), Case3의 예상 통행시간 검증

| 구분    | MAPE(%)           |        |                    |                      | MAE(분'초")         |        |                    |                      | RMSE(%)           |        |                    |                      |
|-------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|
|       | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site |
| 전체    | 4.411             | 4.558  | 4.473              | 17.240               | 1'04"             | 1'07"  | 1'05"              | 3'59"                | 1.397             | 1.401  | 1.362              | 4.359                |
| 오전침두  | 6.777             | 5.184  | 4.462              | 9.757                | 1'49"             | 1'25"  | 1'11"              | 2'28"                | 2.256             | 1.822  | 1.490              | 2.782                |
| 오후비침두 | 3.352             | 6.768  | 6.804              | 17.635               | 0'47"             | 1'38"  | 1'38"              | 4'10"                | 0.947             | 1.756  | 1.762              | 4.239                |
| 오후침두  | 1.838             | 1.638  | 1.492              | 6.409                | 0'29"             | 0'26"  | 0'02"              | 1'40"                | 0.636             | 0.580  | 0.514              | 1.831                |



<그림 4-16> 단거리(서해아파트-오조산공원), Case3의 예측통행시간 그래프

특히 이전구간(안동포교회-서해아파트)에서 오차 허용범위를 초과하였던 오후 침두시의 예측이 오차율 2% 이내, 관측값과 30초미만의 차이로 예측되었다. 세 예측 방법에서 모두 낮은 오차율을 보인 이유는 Case 3 해당 구간의 통행시간 표준편차와 이력자료의 평균표준편차의 차이가 크지 않기 때문으로 분석된다.

확률과정기반 예측의 정확도는 사용되는 이력자료의 개수  $n$ 에 민감하지 않았다.

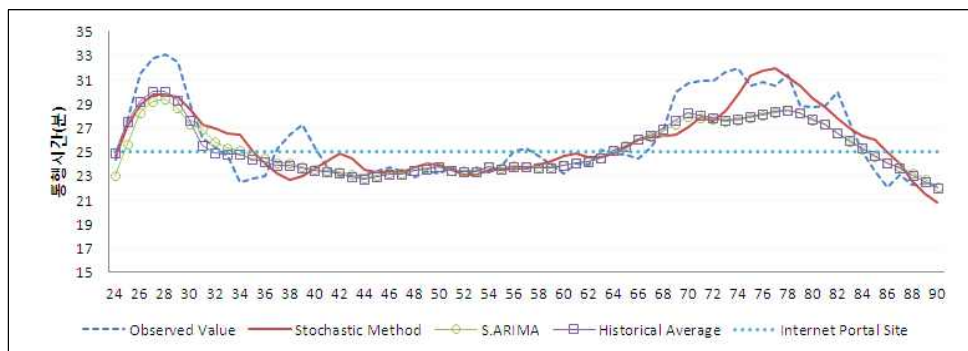
### ③ 오조산공원-부개성일아파트

해당 구간은 평일의 평균 통행시간은 약 25분 20초( $\sigma=2.14$ )이고 Case 3의 하루 평균 통행시간은 약 26분( $\sigma=3.31$ )이다.

이전구간과 마찬가지로, 관측된 해당 구간의 통행시간 표준편차는 이력자료의 평균표준편차와 크게 차이하지 않는다. 때문에 확률과정기반

[표 4-20] 단거리(오조산공원-부개성일아파트), Case3의 예상 통행시간 검증

| 구분    | MAPE(%)           |        |                    |                      | MAE(분'초")         |        |                    |                      | RMSE(%)           |        |                    |                      |
|-------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|
|       | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site |
| 전체    | 5.276             | 5.080  | 4.637              | 9.515                | 1'25"             | 1'25"  | 1'17"              | 2'38"                | 1.816             | 1.867  | 1.712              | 3.444                |
| 오전침두  | 8.262             | 7.087  | 5.757              | 11.192               | 2'11"             | 1'58"  | 1'04"              | 3'16"                | 2.456             | 2.321  | 1.941              | 4.331                |
| 오후비침두 | 1.899             | 1.567  | 1.483              | 7.122                | 0'26"             | 0'22"  | 0'20"              | 1'40"                | 0.513             | 0.415  | 0.379              | 1.686                |
| 오후침두  | 8.226             | 9.261  | 8.688              | 17.676               | 2'32"             | 2'52"  | 2'04"              | 5'26"                | 2.788             | 3.109  | 2.954              | 5.639                |



<그림 4-17> 단거리(오조산공원-부개성일아파트), Case3의 예측통행시간 그래프



예측 결과, 계절성 ARIMA 모형을 이용한 예측결과, 이력자료의 평균값은 전 시간대에 걸쳐 오차율 10% 이내로 예측 하였다.

<그림 4-18>의 오후 침두시를 포함하는 시간단위  $S_{68} \sim S_{84}$ 의 확률과정기반 예측방법은 평균보다 큰 값을 예측하며 관측값의 통행시간 추세를 반영하고 있었다. 또한 시간처짐현상이 발생함에도 불구하고, 허용범위 내의 오차율을 보였으며,  $n=2$ 일 때 오후 침두시의 오차율 약 6%로 다른 예측방법들과 비교하여 교통상황에 유연한 예측결과를 도출하였다.

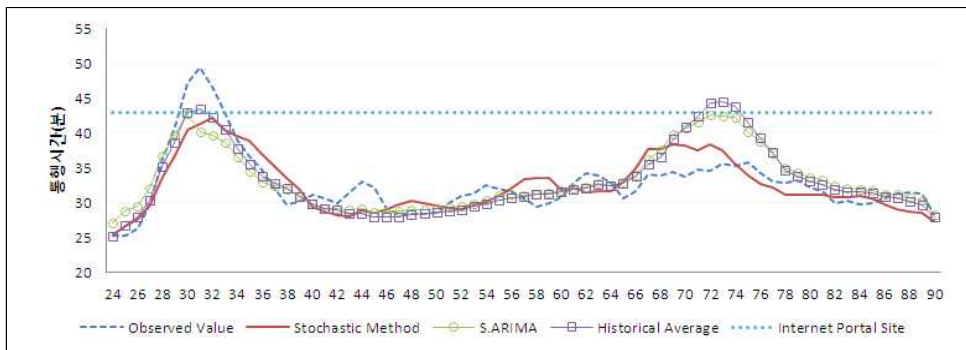
## (2) 중거리

### ① 안동포교회-공촌정수장

해당 구간의 평균 통행시간은 평일 기준 약 33분 10초( $\sigma=4.99$ )이고, Case 3의 하루 평균 통행시간은 약 32분 45초( $\sigma=4.55$ )이다.

[표 4-21] 중거리(안동포교회-공촌정수장), Case3의 예상 통행시간 검증

| 구분    | MAPE(%)           |        |                    |                      | MAE(분'초")         |        |                    |                      | RMSE(%)           |        |                    |                      |
|-------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|
|       | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site |
| 전체    | 6.465             | 7.022  | 6.691              | 34.365               | 2'11"             | 2'02"  | 2'17"              | 10'41"               | 2.661             | 3.196  | 3.189              | 11.209               |
| 오전침두  | 8.893             | 8.803  | 6.400              | 10.098               | 3'56"             | 3'58"  | 2'52"              | 4'11"                | 4.578             | 4.851  | 3.337              | 4.716                |
| 오후비침두 | 4.977             | 3.509  | 3.875              | 42.282               | 1'31"             | 1'05"  | 1'13"              | 12'04"               | 1.604             | 1.230  | 1.555              | 12.794               |
| 오후침두  | 8.280             | 17.552 | 19.705             | 23.594               | 2'52"             | 6'07"  | 6'53"              | 8'11"                | 3.156             | 6.255  | 7.212              | 8.226                |



<그림 4-18> 중거리(안동포교회-공촌정수장), Case3의 예측통행시간 그래프



확률과정 기반의 통행시간 예측은 전반적으로 오차율 10%내로 허용 오차 범위내의 예측을 하였다. 계절성 ARIMA 모형의 예측값과 이력자료의 평균값은 오후 침두시에 오차율 15%이상으로 적합한 예측결과를 도출하지 못하였는데, 이는 Case 3의 구간1(안동포교회-서해아파트)과 동일한 이유로 이후 구간의 정체를 반영, 정시성 유지를 위해 운행속도가 조절되어 평균보다 통행시간이 짧아진 것이 원인으로 분석된다.

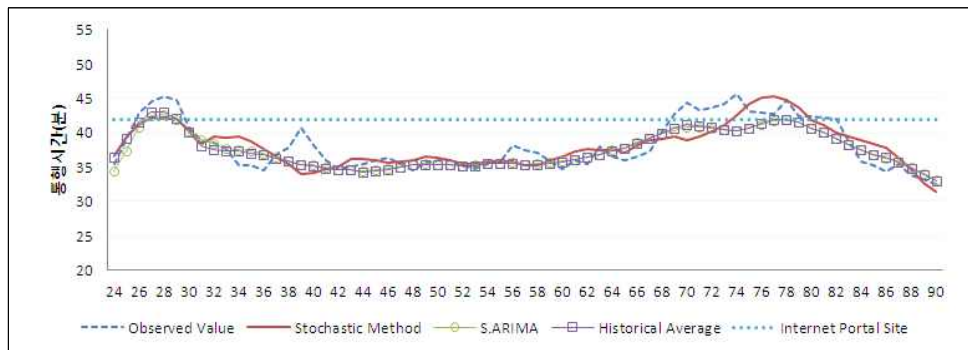
오후 비침두시의  $n$ 은 오차율과 비례하였다.  $n=2$ 일 때 오차율 5%,  $n=5$ 이하의 범위에서는 오차율 10%이내로 예측하였으나  $n=10$ 일 경우에는 약 15%의 오차율을 보이며 허용범위를 초과하였다.

## ② 공촌정수장-부개성일아파트

해당 구간의 평균 통행시간은 평일 기준 약 37분 30초( $\sigma=2.65$ )이고, Case 3의 하루 평균 통행시간은 약 38분 15초( $\sigma=3.63$ )이다.

[표 4-22] 중거리(공촌정수장-부개성일아파트), Case3의 예상 통행시간 검증

| 구분    | MAPE(%)           |        |                    |                      | MAE(분'초")         |        |                    |                      | RMSE(%)           |        |                    |                      |
|-------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|
|       | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site |
| 전체    | 4.355             | 3.817  | 3.728              | 12.580               | 1'41"             | 1'31"  | 1'28"              | 4'34"                | 2.186             | 1.915  | 1.855              | 5.188                |
| 오전침두  | 5.586             | 3.377  | 3.682              | 10.388               | 2'10"             | 1'21"  | 1'28"              | 3'57"                | 2.574             | 1.791  | 1.654              | 4.355                |
| 오후비침두 | 1.472             | 1.104  | 1.068              | 18.629               | 0'31"             | 0'23"  | 0'23"              | 6'35"                | 0.673             | 0.459  | 0.446              | 6.607                |
| 오후침두  | 6.900             | 6.614  | 6.258              | 4.263                | 3'01"             | 2'55"  | 2'46"              | 1'52"                | 3.317             | 3.222  | 3.090              | 2.052                |



<그림 4-19> 중거리(공촌정수장-부개성일아파트), Case3의 예측통행시간 그래프

구간3(오조산공원-부개성일아파트)과 같이 관측값의 표준편차와 이력자료의 평균표준편차 차이가 크지 않기 때문에 확률과정기반 예측 결과, 계절성 ARIMA 모형을 이용한 예측결과, 이력자료의 평균값 모두 허용 기준 이하의 오차율을 보였다. 그리고 확률과정기반 예측의 정확도는  $n$ 에 민감하지 않았다.

### (3) 장거리

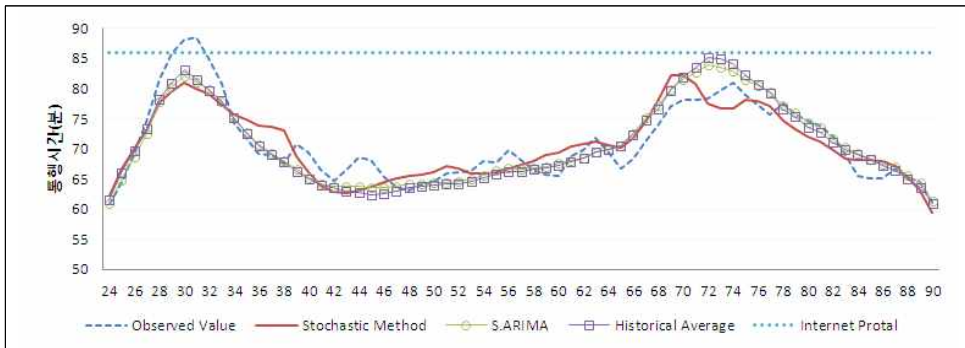
#### ① 안동포교회-부개성일아파트

해당 구간의 평균 통행시간은 평일 기준 약 70분 45초( $\sigma=6.97$ )이고, Case 3의 하루 평균 통행시간은 약 71분( $\sigma=6.58$ )이다.

확률과정 기반의 예측방법, 계절성 ARIMA 모형, 이력자료의 평균값을 사용한 예측은 전 시간대에서 대부분 오차율 5%이내로 예측하였다. 확률과정기반 예측의 정확도는  $n$ 의 영향을 크게 받지 않았다.

[표 4-23] 장거리(안동포교회-부개성일아파트), Case3의 예상 통행시간 검증

| 구분    | MAPE(%)           |        |                    |                      | MAE(분'초)          |        |                    |                      | RMSE(%)           |        |                    |                      |
|-------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|
|       | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site |
| 전체    | 3.641             | 2.962  | 3.230              | 22.236               | 2'38"             | 2'10"  | 2'22"              | 15'08"               | 3.156             | 2.794  | 2.965              | 16.354               |
| 오전첨두  | 5.863             | 4.806  | 4.466              | 6.711                | 4'56"             | 4'05"  | 3'47"              | 5'08"                | 5.406             | 4.627  | 4.308              | 7.038                |
| 오후비첨두 | 2.244             | 1.779  | 2.104              | 30.948               | 1'28"             | 1'11"  | 1'02"              | 20'17"               | 1.603             | 1.355  | 1.611              | 20.350               |
| 오후첨두  | 4.003             | 4.428  | 5.253              | 10.053               | 3'07"             | 3'28"  | 4'07"              | 7'49"                | 3.460             | 3.614  | 4.347              | 8.048                |



<그림 4-20> 장거리(안동포교회-부개성일아파트), Case3의 예측통행시간 그래프

## Case 4. 휴일

### (1) 단거리

#### ① 안동포교회-서해아파트

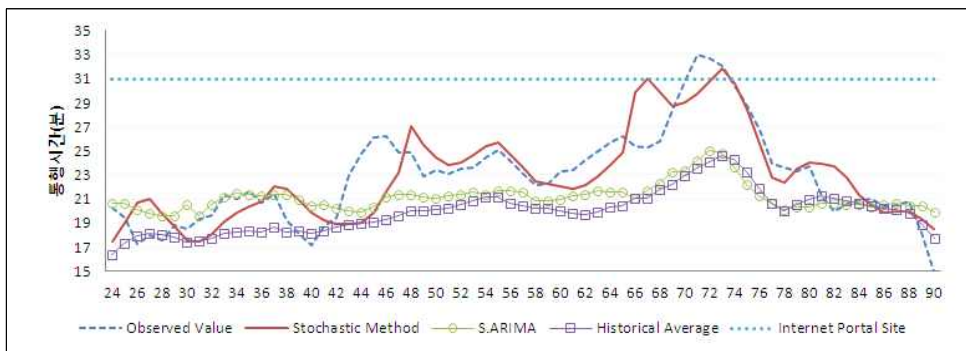
해당 구간의 평균 통행시간은 휴일 기준 약 20분( $\sigma=1.77$ )이고, Case 4의 하루 평균 통행시간은 약 22분 50초( $\sigma=3.85$ )이다.

확률과정 기반의 예측방법은 관측 시간대에 관계없이 오차율 10% 이하로 예측하였다. 반면, 계절성 ARIMA 모형을 이용한 예측결과와 이력자료의 평균값은 일평균 오차율 10%를 초과하였고, 오후 침두시에 20% 이상의 오차율을 보이며 오차 허용기준을 벗어났다.

확률과정기반 예측의 정확도는 일평균 기준으로  $n$ 의 영향을 크게 받지 않았고 오전 침두시의 정확도 역시  $n$ 에 민감하지 않았다. 그러나 오후 비침두·침두시에는  $n$ 에 따라 예측값의 오차율이 2%이상의 차이를 보였다.

[표 4-24] 단거리(안동포교회-서해아파트), Case4의 예상 통행시간 검증

| 구분    | MAPE(%)           |        |                    |                      | MAE(분'초")         |        |                    |                      | RMSE(%)           |        |                    |                      |
|-------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|
|       | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site |
| 전체    | 7.885             | 11.249 | 12.891             | 39.362               | 1'46"             | 2'44"  | 3'11"              | 8'13"                | 2.303             | 3.452  | 3.902              | 8.938                |
| 오전침두  | 7.100             | 4.517  | 9.478              | 57.879               | 1'02"             | 0'51"  | 1'56"              | 11'16"               | 1.548             | 1.089  | 2.174              | 11.353               |
| 오후비침두 | 5.209             | 10.334 | 13.927             | 30.127               | 1'14"             | 2'29"  | 3'20"              | 7'09"                | 1.445             | 2.576  | 3.406              | 7.195                |
| 오후침두  | 5.128             | 21.725 | 22.561             | 6.746                | 1'31"             | 6'39"  | 6'55"              | 1'56"                | 2.066             | 6.828  | 7.105              | 2.424                |



<그림 4-21> 단거리(안동포교회-서해아파트), Case4의 예측통행시간 그래프

오후 비첨두시( $\sigma=0.79$ )의  $n$ 은 오차율과 비례한 반면, 오후 첨두시( $\sigma=2.58$ )의  $n$ 은 오차율과 반비례 하였는데, 이는 관측값의 표준편차가 클수록  $n$ 이 오차율과 반비례 하는 경향을 보인다고 해석할 수 있다.

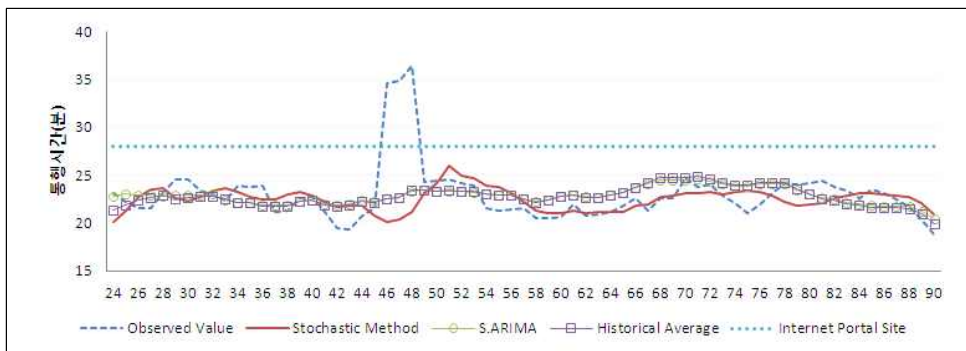
## ② 서해아파트-오조산공원

해당 구간의 평균 통행시간은 휴일 기준 약 22분 50초( $\sigma=1.01$ )이고, Case 4의 하루 평균 통행시간은 약 23분( $\sigma=3.04$ )이다.

확률과정기반 예측 방법, 계절성 ARIMA 모형을 이용한 예측 방법, 이력자료의 평균값을 이용한 방법은 전 시간대에 걸쳐 대체로 허용범위 내 오차율로 예측하였다. 다만 확률과정 기반의 예측 결과는 오후 비첨두시에 10%를 초과하였는데, 이는 오후 비첨두시 이전에 발생한 특이 관측값으로 인한 높은 오차율(MAPE  $S_{48} = 41.976$ )이 오후 비첨두시( $S_{48} \sim S_{56}$ )에 반영되어 발생한 것으로 분석된다.

[표 4-25] 단거리(서해아파트-오조산공원), Case4의 예상 통행시간 검증

| 구분    | MAPE(%)           |        |                    |                      | MAE(분'초")         |        |                    |                      | RMSE(%)           |        |                    |                      |
|-------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|
|       | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site |
| 전체    | 6.603             | 6.873  | 6.972              | 24.898               | 1'43"             | 1'43"  | 1'45"              | 5'04"                | 3.387             | 2.976  | 2.988              | 5.792                |
| 오전첨두  | 4.573             | 3.983  | 4.438              | 18.684               | 1'05"             | 0'58"  | 1'04"              | 4'23"                | 1.264             | 1.175  | 1.301              | 4.444                |
| 오후비첨두 | 10.315            | 8.693  | 8.515              | 20.038               | 3'04"             | 2'37"  | 2'34"              | 5'00"                | 5.580             | 4.740  | 4.702              | 5.311                |
| 오후첨두  | 3.901             | 6.085  | 6.831              | 21.973               | 0'53"             | 1'22"  | 1'32"              | 4'59"                | 1.154             | 1.602  | 1.777              | 5.112                |



<그림 4-22> 단거리(서해아파트-오조산공원), Case4의 예상 통행시간 그래프

확률과정기반 예측의 정확도는 관측값의 표준편차가 큰 편인 오후 비침두시( $\sigma=5.81$ )를 제외하고  $n$ 에 민감하지 않았다.

### ③ 오조산공원-부개성일아파트

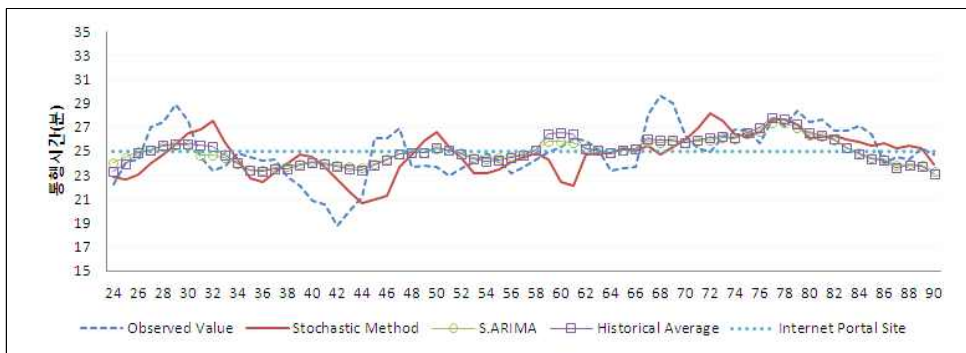
해당 구간의 평균 통행시간은 휴일 기준 약 25분( $\sigma=1.14$ )이고, Case 4의 하루 평균 통행시간은 약 25분( $\sigma=2.18$ )이다.

포털사이트의 통행시간정보를 포함한 네 가지 적용 예측방법 모두 하루 전반에 걸쳐 오차율 10% 이내의 예측값을 보였다. 특히, 제공 중인 정적 정보의 오차율은 상기 분석 시나리오 중에서 유일하게 오차 허용범위 안에 들었는데, 이는 침두시가 없는 휴일의 도심부 통행특성이기 때문인 것으로 분석된다.

오전·오후 침두시의  $n$ 은 오차율과 반비례하였는데, 이는  $n$ 이 증가할수록 시간차집현상 으로부터 발생한 오차가 감소하기 때문으로 분석된다.

[표 4-26] 단거리(오조산공원-부개성일아파트), Case4의 예상 통행시간 검증

| 구분    | MAPE(%)           |        |                    |                      | MAE(분'초")         |        |                    |                      | RMSE(%)           |        |                    |                      |
|-------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|
|       | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site |
| 전체    | 7.047             | 5.632  | 5.667              | 7.006                | 1'45"             | 1'22"  | 1'23"              | 1'43"                | 2.146             | 1.714  | 1.692              | 2.165                |
| 오전침두  | 8.727             | 5.448  | 6.255              | 5.999                | 2'14"             | 1'27"  | 1'38"              | 1'04"                | 2.476             | 1.734  | 1.816              | 2.031                |
| 오후비침두 | 6.621             | 4.460  | 4.369              | 4.731                | 1'34"             | 1'03"  | 1'02"              | 1'07"                | 1.749             | 1.221  | 1.215              | 1.232                |
| 오후침두  | 7.353             | 4.743  | 4.536              | 6.783                | 2'01"             | 1'20"  | 1'16"              | 1'05"                | 2.574             | 1.865  | 1.778              | 2.442                |



<그림 4-23> 단거리(오조산공원-부개성일아파트), Case4의 예측통행시간 그래프

## (2) 중거리

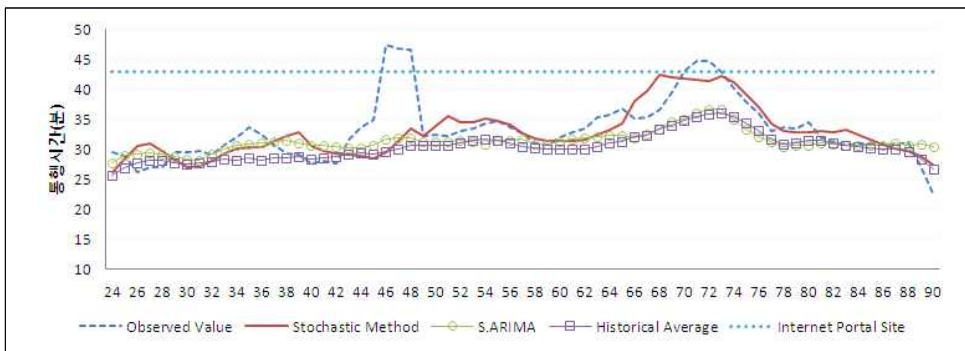
### ① 안동포교회-공촌정수장

해당 구간의 평균 통행시간은 휴일 기준 약 30분 20초( $\sigma=2.27$ )이고, Case 4의 하루 평균 통행시간은 약 33분 20초( $\sigma=5.14$ )이다.

확률과정 기반의 예측값, 계절성 ARIMA 모델을 사용한 예측 값, 이력자료의 평균값의 일평균 오차율은 10% 내로 양호했다.  $S_{44} \sim S_{48}$ 에서 특이 관측값으로 인해 오차율이 약 14~38% 발생한 시간단위가 있었으나, 본 연구에서 설정한 오후 침두시 범위에 포함되는 시간단위가  $S_{48}$  하나이기 때문에 해당 시간단위의 오차율이 충분히 반영되지 않았기 때문으로 해석된다. 그리고 오후 침두시에는 확률과정 기반의 예측만이 허용 오차범위 내의 예측을 하였다. 이는 <그림 4-24>  $S_{60} \sim S_{78}$ 의 관측값이 평균에 크게 상회할 때, 확률과정 기반의 예측은 관측일의 특성을 반영하여 예측하고 있음으로 확인 할 수 있다.

[표 4-27] 중거리(안동포교회-공촌정수장), Case4의 예상 통행시간 검증

| 구분    | MAPE(%)           |        |                    |                      | MAE(분'초")         |        |                    |                      | RMSE(%)           |        |                    |                      |
|-------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|
|       | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site |
| 전체    | 7.476             | 8.402  | 9.132              | 32.620               | 2'37"             | 3'02"  | 3'21"              | 10'05"               | 4.099             | 4.476  | 4.881              | 10.902               |
| 오전침두  | 6.898             | 4.452  | 7.810              | 42.925               | 2'05"             | 1'21"  | 2'26"              | 12'05"               | 2.221             | 1.577  | 2.763              | 12.936               |
| 오후비침두 | 6.817             | 8.912  | 9.731              | 26.881               | 2'44"             | 3'31"  | 3'49"              | 9'02"                | 4.923             | 5.580  | 6.025              | 9.295                |
| 오후침두  | 5.833             | 14.530 | 14.803             | 6.824                | 2'22"             | 6'05"  | 6'13"              | 2'40"                | 2.856             | 6.341  | 6.599              | 3.385                |



<그림 4-24> 중거리(안동포교회-공촌정수장), Case4의 예측통행시간 그래프

$n$ 은 오차율과 반비례하였는데, 특히  $n=10$ 의 오후 침두시 예측은 오차율 3.374%로, 관측값과 평균 1분 20초 차이의 예측을 하였다.

## ② 공촌정수장-부개성일아파트

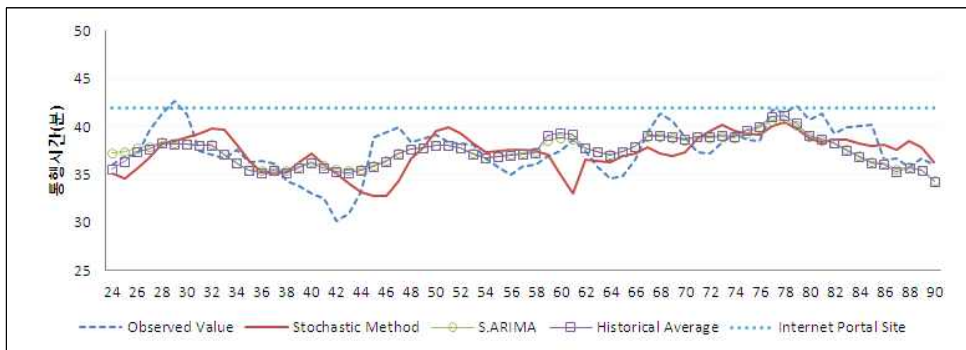
해당 구간의 평균 통행시간은 휴일 기준 약 37분 30초( $\sigma=1.56$ )이고, Case 4의 하루 평균 통행시간은 약 37분 40초( $\sigma=2.62$ )이다.

확률과정 기반의 예측값, 계절성 ARIMA 모델을 사용한 예측 값, 이력자료의 평균값의 일평균 예측 오차율은 10% 이내였다. 이는 ‘구간3’과 같이, 침두시가 없는 휴일의 도심부 통행특성이 반영되었기 때문으로 분석된다.

확률과정기반 예측의 정확도는  $n$ 에 크게 민감하지 않았다. 그러나 오전·오후 침두시의  $n$ 은 오차율과 반비례하였다. 이 역시 ‘구간3’과 같이  $n$ 의 증가에 따른 시간처짐 오차의 크기가 감소하기 때문으로 분석된다.

[표 4-28] 중거리(공촌정수장-부개성일아파트), Case4의 예상 통행시간 검증

| 구분    | MAPE(%)           |        |                    |                      | MAE(분'초")         |        |                    |                      | RMSE(%)           |        |                    |                      |
|-------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|
|       | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site |
| 전체    | 5.346             | 4.345  | 4.328              | 12.298               | 2'00"             | 1'37"  | 1'04"              | 4'25"                | 2.501             | 1.977  | 1.974              | 5.105                |
| 오전침두  | 5.666             | 4.520  | 4.658              | 9.057                | 2'14"             | 1'49"  | 1'53"              | 3'23"                | 2.578             | 2.265  | 2.327              | 3.976                |
| 오후비침두 | 2.672             | 1.904  | 1.870              | 10.782               | 1'01"             | 0'43"  | 0'43"              | 4'04"                | 1.149             | 0.818  | 0.802              | 4.195                |
| 오후침두  | 4.999             | 3.096  | 3.108              | 7.918                | 1'58"             | 1'13"  | 1'13"              | 3'02"                | 2.352             | 1.406  | 1.398              | 3.325                |



<그림 4-25> 중거리(공촌정수장-부개성일아파트), Case4의 예측통행시간 그래프



### (3) 장거리

#### ① 안동포교회-부개성일아파트

해당 구간의 평균 통행시간은 휴일 기준 약 67분 50초( $\sigma=3.43$ )이고, Case 4의 하루 평균 통행시간은 약 71분( $\sigma=6.30$ )이다.

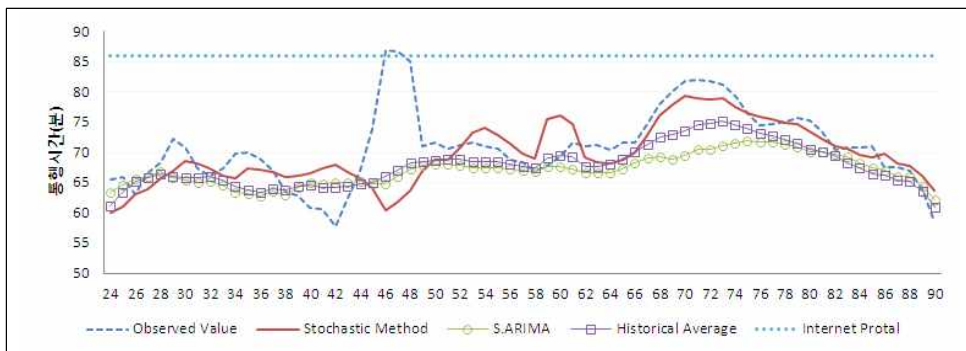
확률과정 기반의 예측방법은 오후 침두시에 5%미만으로 가장 정확한 예측을 하였다. 통행시간의 예측이 크게 어긋나는 시간단위( $S_{46} \sim S_{48}$ )에는 오차를 25~30%이며, 이는 [부록 A-24]에서 확인할 수 있다.

보편적인 평일(Case 1)의 오후 침두시에 가장 높은 정확도를 보였던 계절성 ARIMA 모델을 사용한 예측은 10% 이상의 오차를 보였고, 이력자료의 평균값 역시 확률과정 기반의 예측보다 통행시간 오차가 4분가량 컸다.

확률과정기반 예측의 정확도는  $n$ 의 영향을 크게 받지 않았다.

[표 4-29] 장거리(안동포교회-부개성일아파트), Case4의 예상 통행시간 검증

| 구분    | MAPE(%)           |        |                    |                      | MAE(분'초")         |        |                    |                      | RMSE(%)           |        |                    |                      |
|-------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------------|
|       | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site | Stochastic Method | SARIMA | Historical Average | Internet Portal Site |
| 전체    | 4.981             | 6.285  | 5.184              | 22.147               | 3'38"             | 4'41"  | 3'51"              | 15'05"               | 6.134             | 6.461  | 5.481              | 16.272               |
| 오전침두  | 3.541             | 5.864  | 4.988              | 24.728               | 2'28"             | 4'01"  | 3'03"              | 17'00"               | 2.860             | 4.692  | 4.155              | 17.105               |
| 오후비침두 | 5.953             | 6.691  | 5.498              | 18.486               | 4'40"             | 5'07"  | 4'15"              | 13'10"               | 7.889             | 7.000  | 6.343              | 13.949               |
| 오후침두  | 2.668             | 12.026 | 7.624              | 7.359                | 2'10"             | 9'41"  | 6'08"              | 5'51"                | 2.329             | 9.978  | 6.374              | 6.146                |



<그림 4-26> 장거리(안동포교회-부개성일아파트), Case4의 예측통행시간 그래프



## 제5장 결론

### 제1절 결론 및 종합적 해석

본 연구에서는 대량의 BIS 이력자료와 확률과정 개념을 사용하여 버스 통행시간의 예측 방법을 제안하고, 예측의 정확도를 평가하기 위하여 3가지의 다른 방법(계절성 ARIMA 모형, 통행시간 이력자료의 평균값, 포털사이트의 버스 통행시간 정보)과 비교분석하였다. 통행구간 및 시점을 고려하여 총 24개 Case로 세분화하여 적용한 결과, 다음의 결론을 도출하였다.

본 연구에서 적용한 네 가지의 방법 모두 대체로 도심부 통행일수록 예측의 정확도가 높았다. 이는 통행구간의 토지이용 및 교통 특성에 따른 결과로 판단된다. 버스 운전자는 정시성을 유지하기 위하여 차량의 속도를 조절하며 운행하는데, 상대적으로 통행량이 많은 도심의 경우, 교통류의 영향을 많이 받기 때문에 속도를 자유롭게 조절할 수 없다. 실제로 첨두시 통행시간의 표준편차와 비첨두시 통행시간의 표준편차간의 차이가 크지 않아 도심부는 다른 구간에 비하여 통행시간 예측 결과가 우수한 편이었다.

그리고 예측하고자 하는 통행구간의 길이가 길수록 예측의 정확도가 높았다. 이는 통행구간의 길이가 길어질수록 교통류의 미시적 특성들이 서로 상쇄되어 상대적으로 덜 민감하기 때문으로 분석된다.

계절성 ARIMA 모형과 이력자료의 평균을 이용한 예측결과는 평일에 적합하였다. 하지만 평일 첨두시의 도심부, 휴일, 돌발 상황 발생일, 혹은 강수일 등 교통의 흐름이 특수한 상황에 적용 시, 많은 구간에서 예측값의 오차가 허용범위(오차율 10%)를 넘어섰다. 이는 버스 운전자가 특수 상황에 대응하기 위하여 통행속도 조절하였기 때문이다.

본 연구에서 제안한 확률과정 기반의 예측방법은 평일 첨두시의 도

심부에서는 통행시간 예측 정확도가 높았다. 하지만 평일 비침두시의 도심 외 구간에서는 다른 방법들에 비해 예측 오차율이 크게 나타났다. 이는 시간처짐현상으로 인한 예측 오차가 원인인 것으로 판단된다. 그러나 다른 방법들을 사용한 예측결과와의 차이가 중·단거리일 경우 1분 내외로 그 차이는 미미한 수준 이었다.

확률과정 기반의 예측방법은 최근에 수집된 통행시간 자료와 이력자료를 함께 사용하므로, 관측일의 통행 특성을 반영하여 통상적인 교통의 흐름과 상이한 경우에도 대부분 허용범위 내의 오차율을 보였다. 특히 통행구간이 기점 근처인 경우, 즉 통행속도의 조절이 자유로운 구간의 예측에서 다른 방법에 비해 적합한 것으로 분석되었다. 이는 다시 말하여, 버스의 정시성 유지를 위해 수반되는 통행시간 예측의 어려움을 극복한 것으로 해석할 수 있다. 이와 같은 이유로 확률과정 기반의 예측방법은 노선 전 구간에 걸쳐서 이용자에게 동일한 품질의 통행시간 정보를 제공 할 수 있으며, 통행시간정보의 형평성을 확보하였다고 볼 수 있다.

끝으로, 확률과정 기반의 예측방법은 독립변수를 필요로 하지 않는 비모수적 방법으로, 예측을 위한 변수의 설정이나 모형의 개발 및 모수의 갱신이 요구 되지 않는다는 특징이 있다. 더하여 방법론의 이해가 쉽고 복잡한 체계나 연산과정을 요구하지 않기 때문에 수행속도가 빠르고 효율적이며 시스템의 유지 및 관리가 용이하다는 장점이 있다.

## 제2절 한계점 및 향후 연구 과제

본 연구의 한계점은 다음과 같다.

첫째, 계절성 ARIMA모형의 장거리 추정 모형이 Ljung-Box 검정에서 통계적으로 유의하지 않았다(유의확률  $0.013 < \text{유의수준 } 0.05$ ). 이는 시계열 자료를 사용하는 ARIMA 모형에서 최적의 모형을 계산하는 프

로그그램 상의 자동모형생성 결과로, Ljung-Box 검정에서 통계적 유의성이 낮음에도 불구하고 본 연구의 장거리 예측에 이용하였다.

둘째, 시간차집현상으로 통행시간 예측에 있어 이차적인 오차가 발생한다. 이는 이 방법이 가지고 있는 구조적인 한계로 예측에 사용하는 이력자료의 수  $n$ 의 조정이나 반영되는 비율의 조정으로도 해결 할 수 없는 문제이다.

셋째, 본 예측방법은 관측일의 이력자료를 필요로 하기 때문에 충분한 자료가 수집되기 이전 시간에는 사용할 수 없다. 즉, 구간의 통행시간 길이에 따라 예측에 사용할 수 있는 자료가 수집되어지는 시기도 다르며, 해당 구간의 길이가 길수록 정보는 늦게 제공되게 된다.

넷째, Case 2의 돌발 상황에 대한 확인이 부족한 것이 또 다른 한계점으로 남아있다. 데이터 상으로 4월 18일 오후 칠두시에 돌발 상황이 발생하였다는 것을 추측할 뿐, 정확히 어떤 돌발 상황이 정확히 어느 시간에 발생하여 어느 시간에 소강되었는지를 차후 조사를 통해 정확히 파악 할 필요가 있다.

## 참 고 문 헌

- 국토교통부(2006). 「ITS 성능평가 요령.
- 국토교통부(2010). 「ITS 용어사전」.
- 김대수(2005). 「신경망 이론과 응용 I (제16판)」. 서울:진한엠앤비.
- 김승일, 김영찬, 이청원(2006). “버스정보시스템(BIS) 정류장도착예정시간 시스템오차 연구”. 「대한교통학회지」. 24(4): 117-127.
- 김연형(2012). 「PASW(SPSS)시계열 분석」. 서울:교우사.
- 김주현, 정영훈(2001). “GPS를 이용한 버스안내시스템개발에 관한 연구”. 「대한교통학회 학술대회지」. 40(추계): 191-196.
- 김중호, 이기성(2010). 「확률과정 입문」. 경기:자유아카데미.
- 남양주시. 「남양주시 버스정보시스템(BIS) 알고리즘 검증 및 평가」.
- 노형진(2011). 「SPSS/EXCEL을 활용한 알기쉬운 시계열분석」. 경기:학현사.
- 문영준 외(2003). 「Mobile 위치추적기반 교통정보안내 사업」. 한국건설기술연구원.
- 박신형, 정연정, 김창호(2006). “비모수 회귀분석을 이용한 실시간 통행시간 예측 기법 개발 및 평가: 서울시 버스를 중심으로”. 「대한교통학회지」. 24(1): 109-120.
- 박진수 외(2007). 「유비쿼터스 환경의 차세대 국가 교통정보 수집체계 개발 및 시범사업 연구보고서」, 건설교통부(한국건설교통기술평가원).
- 박평근, 고광섭, 곽재덕, 이한열, 박성수(2010). “과거 패턴자료와 날씨계수를 이용한 버스 통행시간 예측에 관한 연구”. 「대한교통학회 학술대회지」. 63(추계): 253-257.
- 변완희, 김주현, 윤여환, 이용택, 조현우(2009). 「지능형교통관리시스템 이론과 실무」. 경기:청문각.
- 송익호, 김광순, 박소령, 박철훈(2009). 「확률과정의 원리」. 서울:교보문고.
- 원제무, 오영태, 황준환(2003). 「첨단교통론」. 서울:한울아카데미.

이승훈, 문병섭, 박범진(2010). “버스지체시간을 활용한 버스도착시간 예측”. 「대한교통학회지」. 28(1): 125-134.

이영우(2013). “버스정보시스템[BIS] 수집자료를 이용한 경로통행시간 추정”. 「대한토목학회논문집」. 33(3): 1115-1122.

이외숙(2005). 「확률과정론 입문」. 서울:경문사.

이정대, 류승기, 신재명(2005). “구간검지자료를 이용한 구간통행시간 예측에 관한 연구”. 「대한토목학회 학술대회」. 4107-4112.

이청원(2001). 「서울시 동적교통정보 제공을 위한 기본연구」. 서울시정개발연구원.

이희중, 류승기(2005). “광역버스 통행시간예측을 위한 신경망 모형의 적용”. 「대한토목학회 학술대회」. 4101-4106.

장현호, 한동희, 이태경, 이영인, 원제무(2010). “NPR기반 누락 교통자료 추정기법 개발 및 적용”. 「대한교통학회지」. 28(3): 61-74.

한국 ITS학회(2008). 「교통정보공학론」. 경기:청문각.

한국지능형교통체계협회. 알기 쉬운 지능형교통시스템. <http://www.itskorea.kr>

Hunter, T., Hofleitner, A., Reilly, J., Krichene, W., Thai, J., Kouvelas, A., Abbeel, P., and Bayen, A.(2013). “Arriving on time: estimating travel time distributions on large-scale road networks”

WANG, B., WANG, W., YANG, M., and GAO, L.(2012). “An approach to bus travel time prediction based on the adaptive fading kalman filter algorithm”. CICTP 2012: 1652-1661.

Yu, B., Lam, W.H.K., and Tam, M.L.(2011). “Bus arrival time prediction at bus stop with multiple routes”. Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 19(6): 1157 - 1170

부록 A. 최적 사용 이력자료 수  $n$ 의 민감도 분석

[부록 A-1] Case 1., 단거리(안동포교회-서해아파트)

| 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        | 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        |
|----------|---------|--------|--------|--------|----------|---------|--------|--------|--------|
|          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |
| 24       | 6.909   | 9.753  | 10.402 | 11.699 | 58       | 0.385   | 3.687  | 3.474  | 2.619  |
| 25       | 2.941   | 0.715  | 0.032  | 1.444  | 59       | 7.651   | 3.596  | 2.370  | 2.575  |
| 26       | 10.041  | 7.284  | 5.691  | 2.688  | 60       | 8.299   | 7.268  | 5.587  | 4.370  |
| 27       | 10.547  | 10.251 | 9.496  | 5.938  | 61       | 13.840  | 17.689 | 16.540 | 13.781 |
| 28       | 1.746   | 3.419  | 3.285  | 0.245  | 62       | 14.743  | 20.626 | 22.051 | 19.120 |
| 29       | 3.493   | 2.742  | 3.975  | 1.723  | 63       | 12.914  | 17.809 | 20.269 | 19.728 |
| 30       | 7.855   | 6.976  | 2.884  | 3.446  | 64       | 0.249   | 6.729  | 9.709  | 12.317 |
| 31       | 0.616   | 1.955  | 1.210  | 2.554  | 65       | 7.615   | 0.226  | 2.286  | 9.035  |
| 32       | 8.063   | 10.905 | 9.987  | 5.924  | 66       | 11.570  | 10.355 | 5.514  | 5.390  |
| 33       | 6.361   | 8.443  | 9.151  | 5.287  | 67       | 9.789   | 12.905 | 12.150 | 3.591  |
| 34       | 1.742   | 0.864  | 0.572  | 1.128  | 68       | 12.581  | 16.879 | 18.077 | 6.753  |
| 35       | 14.321  | 11.740 | 10.632 | 9.755  | 69       | 16.177  | 20.341 | 22.337 | 17.209 |
| 36       | 7.745   | 7.046  | 7.116  | 4.447  | 70       | 10.960  | 16.337 | 18.790 | 21.225 |
| 37       | 4.847   | 0.016  | 0.719  | 2.400  | 71       | 0.063   | 9.288  | 12.839 | 21.900 |
| 38       | 20.508  | 14.714 | 13.316 | 14.534 | 72       | 0.859   | 9.367  | 13.183 | 27.561 |
| 39       | 21.588  | 22.869 | 20.437 | 19.704 | 73       | 3.427   | 4.202  | 8.283  | 23.366 |
| 40       | 6.925   | 12.965 | 13.199 | 12.730 | 74       | 4.007   | 3.130  | 4.941  | 19.281 |
| 41       | 3.040   | 4.628  | 6.843  | 7.633  | 75       | 4.469   | 5.894  | 5.486  | 15.596 |
| 42       | 6.574   | 3.205  | 0.698  | 2.126  | 76       | 9.880   | 10.918 | 11.075 | 16.944 |
| 43       | 8.676   | 9.365  | 7.535  | 3.716  | 77       | 14.435  | 15.362 | 16.061 | 19.345 |
| 44       | 8.352   | 10.537 | 10.688 | 5.734  | 78       | 9.841   | 11.767 | 12.193 | 14.621 |
| 45       | 1.026   | 4.803  | 6.089  | 2.442  | 79       | 6.299   | 9.332  | 10.132 | 12.186 |
| 46       | 9.169   | 5.006  | 3.436  | 4.354  | 80       | 2.591   | 0.615  | 1.586  | 3.894  |
| 47       | 9.525   | 8.271  | 6.724  | 5.080  | 81       | 9.053   | 6.963  | 5.430  | 2.179  |
| 48       | 4.039   | 6.275  | 5.743  | 3.395  | 82       | 7.631   | 7.751  | 6.894  | 3.192  |
| 49       | 1.553   | 2.730  | 3.600  | 0.694  | 83       | 3.320   | 6.301  | 6.636  | 3.784  |
| 50       | 0.014   | 2.233  | 3.894  | 2.896  | 84       | 4.435   | 7.936  | 8.776  | 7.610  |
| 51       | 1.190   | 1.004  | 2.461  | 3.643  | 85       | 1.947   | 3.282  | 4.610  | 5.037  |
| 52       | 1.912   | 1.324  | 1.491  | 4.114  | 86       | 7.542   | 8.676  | 9.929  | 12.525 |
| 53       | 7.773   | 8.270  | 8.189  | 11.062 | 87       | 6.270   | 8.079  | 8.614  | 12.795 |
| 54       | 7.308   | 8.087  | 7.993  | 10.856 | 88       | 9.540   | 11.846 | 12.673 | 17.901 |
| 55       | 1.684   | 0.451  | 1.469  | 3.894  | 89       | 0.175   | 3.800  | 5.301  | 10.533 |
| 56       | 15.035  | 9.944  | 9.159  | 6.123  | 90       | 8.158   | 4.344  | 3.105  | 3.401  |
| 57       | 11.126  | 10.821 | 9.876  | 7.450  | Ave.     | 7.089   | 7.954  | 8.133  | 8.690  |

[부록 A-2] Case 1., 단거리(서해아파트-오조산공원)

| 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        | 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        |
|----------|---------|--------|--------|--------|----------|---------|--------|--------|--------|
|          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |
| 24       | 5.944   | 8.182  | 8.171  | 8.151  | 58       | 4.579   | 1.566  | 0.227  | 2.368  |
| 25       | 0.053   | 2.716  | 3.356  | 3.903  | 59       | 7.726   | 5.610  | 4.284  | 0.248  |
| 26       | 2.835   | 0.048  | 1.546  | 3.073  | 60       | 9.527   | 10.262 | 9.299  | 3.577  |
| 27       | 3.830   | 3.047  | 2.082  | 0.555  | 61       | 1.044   | 4.215  | 4.660  | 0.422  |
| 28       | 2.657   | 1.597  | 2.029  | 5.043  | 62       | 5.414   | 2.511  | 1.725  | 3.542  |
| 29       | 9.087   | 7.618  | 7.359  | 10.081 | 63       | 9.674   | 8.654  | 7.263  | 7.250  |
| 30       | 8.501   | 8.530  | 7.775  | 10.301 | 64       | 8.838   | 10.308 | 10.101 | 8.658  |
| 31       | 6.925   | 11.750 | 12.033 | 13.870 | 65       | 6.795   | 10.489 | 10.887 | 9.917  |
| 32       | 9.236   | 1.879  | 1.046  | 0.629  | 66       | 2.887   | 8.019  | 9.611  | 9.526  |
| 33       | 13.266  | 5.498  | 4.516  | 2.919  | 67       | 5.308   | 0.481  | 2.230  | 5.023  |
| 34       | 3.836   | 6.051  | 5.156  | 1.589  | 68       | 13.928  | 11.299 | 8.024  | 1.867  |
| 35       | 2.058   | 2.166  | 3.274  | 0.939  | 69       | 15.409  | 16.574 | 16.010 | 7.955  |
| 36       | 0.460   | 3.070  | 4.113  | 3.098  | 70       | 12.964  | 17.025 | 17.653 | 12.094 |
| 37       | 3.747   | 2.900  | 4.235  | 4.528  | 71       | 4.039   | 9.609  | 11.206 | 9.492  |
| 38       | 2.812   | 3.120  | 2.856  | 1.317  | 72       | 2.184   | 8.050  | 10.425 | 12.727 |
| 39       | 1.510   | 0.103  | 0.446  | 2.617  | 73       | 3.311   | 0.746  | 1.406  | 6.111  |
| 40       | 3.559   | 3.535  | 3.704  | 5.574  | 74       | 3.948   | 3.731  | 2.304  | 3.325  |
| 41       | 5.271   | 3.260  | 3.655  | 5.243  | 75       | 8.397   | 8.795  | 8.613  | 4.128  |
| 42       | 1.037   | 2.068  | 2.017  | 3.302  | 76       | 4.400   | 5.742  | 6.131  | 2.707  |
| 43       | 0.983   | 1.275  | 0.989  | 1.663  | 77       | 8.293   | 5.327  | 4.764  | 6.125  |
| 44       | 3.076   | 3.725  | 4.774  | 5.119  | 78       | 9.410   | 6.215  | 4.864  | 4.395  |
| 45       | 3.024   | 2.611  | 3.163  | 4.535  | 79       | 0.449   | 1.121  | 0.651  | 0.820  |
| 46       | 0.034   | 0.523  | 0.582  | 2.015  | 80       | 7.301   | 2.747  | 2.854  | 4.310  |
| 47       | 0.616   | 0.632  | 0.758  | 1.927  | 81       | 0.855   | 0.135  | 1.169  | 0.158  |
| 48       | 0.882   | 0.625  | 0.347  | 0.754  | 82       | 0.088   | 2.791  | 1.856  | 1.989  |
| 49       | 5.463   | 4.987  | 5.451  | 6.767  | 83       | 5.485   | 6.736  | 7.456  | 6.616  |
| 50       | 8.811   | 8.599  | 8.359  | 9.374  | 84       | 7.497   | 7.021  | 7.734  | 7.480  |
| 51       | 10.940  | 11.961 | 12.021 | 12.884 | 85       | 0.030   | 1.254  | 1.667  | 2.427  |
| 52       | 0.987   | 4.920  | 5.676  | 7.119  | 86       | 7.076   | 3.038  | 2.940  | 1.566  |
| 53       | 8.908   | 3.106  | 2.061  | 0.309  | 87       | 1.160   | 0.058  | 1.117  | 2.705  |
| 54       | 11.478  | 9.272  | 6.596  | 2.942  | 88       | 0.106   | 2.191  | 1.659  | 0.686  |
| 55       | 8.146   | 10.290 | 10.008 | 6.807  | 89       | 3.890   | 2.510  | 2.141  | 4.035  |
| 56       | 4.500   | 7.590  | 8.184  | 6.172  | 90       | 0.321   | 1.055  | 0.128  | 0.960  |
| 57       | 3.766   | 6.253  | 7.543  | 7.413  | Ave.     | 5.083   | 5.066  | 5.059  | 4.742  |

[부록 A-3] Case 1., 단거리(오조산공원-부개성일아파트)

| 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        | 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        |
|----------|---------|--------|--------|--------|----------|---------|--------|--------|--------|
|          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |
| 24       | 5.361   | 6.334  | 6.897  | 8.024  | 58       | 4.335   | 2.079  | 1.776  | 3.948  |
| 25       | 1.934   | 0.555  | 1.040  | 3.062  | 59       | 5.750   | 3.690  | 2.780  | 4.104  |
| 26       | 8.769   | 4.634  | 3.379  | 0.655  | 60       | 5.773   | 5.761  | 5.056  | 5.466  |
| 27       | 4.983   | 4.949  | 3.817  | 0.188  | 61       | 1.969   | 1.671  | 1.674  | 1.315  |
| 28       | 5.591   | 2.606  | 2.958  | 5.664  | 62       | 3.117   | 0.166  | 0.559  | 0.491  |
| 29       | 4.728   | 2.050  | 2.361  | 4.791  | 63       | 3.618   | 3.790  | 1.583  | 1.886  |
| 30       | 4.922   | 2.519  | 1.550  | 3.535  | 64       | 2.485   | 1.063  | 0.855  | 2.504  |
| 31       | 4.758   | 3.479  | 4.580  | 3.720  | 65       | 0.217   | 0.950  | 1.179  | 0.253  |
| 32       | 5.675   | 4.011  | 2.939  | 3.291  | 66       | 1.284   | 1.220  | 1.924  | 0.433  |
| 33       | 2.476   | 0.178  | 0.895  | 0.594  | 67       | 8.460   | 7.458  | 7.585  | 7.183  |
| 34       | 4.137   | 0.173  | 1.246  | 1.364  | 68       | 1.233   | 1.876  | 1.887  | 2.072  |
| 35       | 2.317   | 2.703  | 1.540  | 1.285  | 69       | 6.518   | 4.091  | 4.060  | 2.330  |
| 36       | 2.816   | 0.591  | 1.406  | 1.926  | 70       | 9.247   | 7.210  | 6.081  | 4.640  |
| 37       | 0.621   | 1.140  | 2.131  | 1.234  | 71       | 4.698   | 7.053  | 6.678  | 5.093  |
| 38       | 2.082   | 2.641  | 2.027  | 2.616  | 72       | 0.725   | 1.932  | 1.580  | 0.256  |
| 39       | 4.016   | 3.459  | 3.104  | 2.945  | 73       | 7.165   | 1.572  | 1.741  | 2.759  |
| 40       | 9.319   | 9.230  | 9.212  | 8.924  | 74       | 7.129   | 8.235  | 6.797  | 4.844  |
| 41       | 12.304  | 12.578 | 12.372 | 12.684 | 75       | 1.123   | 4.433  | 4.931  | 2.849  |
| 42       | 4.884   | 7.401  | 8.228  | 8.987  | 76       | 1.917   | 0.974  | 1.930  | 1.065  |
| 43       | 14.041  | 7.186  | 6.551  | 4.705  | 77       | 3.254   | 2.319  | 1.120  | 0.978  |
| 44       | 16.492  | 11.757 | 8.890  | 6.851  | 78       | 1.847   | 1.211  | 1.671  | 2.600  |
| 45       | 3.189   | 6.050  | 5.779  | 3.534  | 79       | 1.760   | 1.269  | 1.613  | 2.490  |
| 46       | 7.518   | 2.797  | 1.767  | 2.599  | 80       | 0.165   | 0.125  | 0.432  | 0.938  |
| 47       | 7.505   | 5.364  | 4.081  | 3.677  | 81       | 6.555   | 5.448  | 5.405  | 4.424  |
| 48       | 2.670   | 0.715  | 1.990  | 3.497  | 82       | 10.429  | 10.040 | 9.906  | 9.447  |
| 49       | 8.156   | 4.280  | 3.585  | 5.951  | 83       | 9.696   | 11.240 | 11.027 | 11.224 |
| 50       | 7.455   | 7.444  | 6.281  | 8.350  | 84       | 9.438   | 11.136 | 10.953 | 11.122 |
| 51       | 5.247   | 2.017  | 2.372  | 1.150  | 85       | 0.462   | 5.294  | 6.908  | 8.133  |
| 52       | 11.214  | 8.365  | 7.414  | 6.680  | 86       | 5.640   | 0.812  | 2.069  | 5.098  |
| 53       | 11.368  | 11.774 | 10.741 | 10.192 | 87       | 6.664   | 6.623  | 3.935  | 1.728  |
| 54       | 4.643   | 9.472  | 9.733  | 9.327  | 88       | 3.733   | 4.594  | 4.640  | 1.634  |
| 55       | 5.944   | 0.243  | 0.933  | 1.286  | 89       | 4.395   | 5.730  | 6.635  | 1.630  |
| 56       | 7.498   | 4.978  | 2.224  | 1.081  | 90       | 3.101   | 4.332  | 5.344  | 2.810  |
| 57       | 6.819   | 8.856  | 7.825  | 4.746  | Ave.     | 5.304   | 4.447  | 4.241  | 3.983  |



[부록 A-4] Case 1., 중거리(안동포교회-공촌정수장)

| 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        | 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        |
|----------|---------|--------|--------|--------|----------|---------|--------|--------|--------|
|          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |
| 24       | 2.257   | 4.275  | 4.749  | 6.276  | 58       | 4.620   | 5.960  | 5.952  | 4.864  |
| 25       | 2.477   | 1.766  | 1.069  | 0.356  | 59       | 4.341   | 0.129  | 0.876  | 1.680  |
| 26       | 7.950   | 7.336  | 6.411  | 4.230  | 60       | 13.011  | 7.381  | 5.538  | 2.933  |
| 27       | 9.706   | 9.773  | 9.908  | 7.385  | 61       | 8.869   | 12.634 | 11.674 | 7.297  |
| 28       | 5.734   | 5.818  | 5.988  | 2.894  | 62       | 7.032   | 10.921 | 12.160 | 8.752  |
| 29       | 2.971   | 7.570  | 7.853  | 6.051  | 63       | 2.203   | 5.309  | 7.086  | 6.308  |
| 30       | 6.724   | 2.003  | 3.282  | 2.901  | 64       | 2.682   | 0.321  | 1.671  | 3.494  |
| 31       | 2.814   | 4.444  | 7.982  | 9.506  | 65       | 7.035   | 5.638  | 3.915  | 0.189  |
| 32       | 7.049   | 8.990  | 7.240  | 1.386  | 66       | 11.073  | 9.340  | 7.419  | 2.308  |
| 33       | 10.009  | 11.944 | 10.202 | 4.417  | 67       | 9.006   | 10.245 | 9.152  | 0.544  |
| 34       | 5.711   | 6.670  | 7.053  | 0.622  | 68       | 5.063   | 8.871  | 9.533  | 1.372  |
| 35       | 1.230   | 0.097  | 0.139  | 2.488  | 69       | 3.280   | 2.037  | 3.865  | 0.087  |
| 36       | 1.578   | 2.192  | 3.361  | 3.145  | 70       | 6.564   | 2.962  | 0.689  | 0.304  |
| 37       | 2.039   | 4.508  | 5.045  | 7.309  | 71       | 4.165   | 4.477  | 2.151  | 3.084  |
| 38       | 12.427  | 10.235 | 11.654 | 14.155 | 72       | 2.018   | 0.114  | 0.683  | 8.705  |
| 39       | 15.790  | 13.764 | 13.649 | 17.177 | 73       | 9.260   | 6.302  | 4.876  | 11.543 |
| 40       | 8.967   | 11.273 | 10.461 | 13.231 | 74       | 12.034  | 10.099 | 9.476  | 12.717 |
| 41       | 3.316   | 1.535  | 3.624  | 6.441  | 75       | 13.663  | 14.942 | 14.233 | 15.391 |
| 42       | 4.890   | 2.695  | 0.954  | 3.123  | 76       | 11.938  | 14.377 | 14.706 | 14.695 |
| 43       | 4.658   | 5.440  | 4.351  | 0.779  | 77       | 9.261   | 11.296 | 12.189 | 12.356 |
| 44       | 2.458   | 4.105  | 4.280  | 0.738  | 78       | 5.638   | 7.694  | 8.628  | 9.912  |
| 45       | 0.132   | 1.691  | 2.387  | 0.252  | 79       | 7.536   | 9.698  | 10.454 | 12.544 |
| 46       | 5.045   | 3.841  | 3.168  | 3.856  | 80       | 3.193   | 4.507  | 5.183  | 7.354  |
| 47       | 5.224   | 5.042  | 4.520  | 3.770  | 81       | 2.745   | 2.034  | 1.292  | 1.217  |
| 48       | 3.587   | 4.792  | 4.725  | 3.798  | 82       | 4.980   | 3.532  | 3.022  | 0.026  |
| 49       | 1.098   | 3.470  | 4.063  | 3.124  | 83       | 5.801   | 3.953  | 3.508  | 0.607  |
| 50       | 3.047   | 4.684  | 5.569  | 5.802  | 84       | 5.637   | 6.714  | 6.489  | 4.415  |
| 51       | 1.799   | 2.540  | 3.759  | 5.254  | 85       | 3.572   | 6.007  | 6.052  | 4.924  |
| 52       | 0.842   | 1.575  | 1.956  | 4.843  | 86       | 9.381   | 10.511 | 11.419 | 11.012 |
| 53       | 3.972   | 5.152  | 5.779  | 8.718  | 87       | 6.445   | 7.172  | 8.285  | 9.530  |
| 54       | 2.182   | 2.730  | 3.016  | 6.243  | 88       | 9.402   | 12.159 | 12.829 | 15.865 |
| 55       | 4.984   | 4.262  | 3.702  | 0.870  | 89       | 1.418   | 4.457  | 5.704  | 9.246  |
| 56       | 13.620  | 11.650 | 11.463 | 8.648  | 90       | 4.318   | 2.086  | 0.818  | 4.151  |
| 57       | 9.781   | 11.261 | 11.255 | 10.104 | Ave.     | 5.869   | 6.164  | 6.211  | 5.811  |

[부록 A-5] Case 1., 중거리(공촌정수장-부개성일아파트)

| 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |       |       | 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        |
|----------|---------|--------|-------|-------|----------|---------|--------|--------|--------|
|          | n=2     | n=4    | n=5   | n=10  |          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |
| 24       | 8.416   | 9.422  | 9.731 | 3.616 | 58       | 0.726   | 0.388  | 1.606  | 2.896  |
| 25       | 0.378   | 3.143  | 3.816 | 5.175 | 59       | 1.266   | 0.116  | 0.116  | 1.867  |
| 26       | 5.504   | 2.163  | 1.283 | 1.019 | 60       | 3.601   | 2.375  | 1.881  | 3.377  |
| 27       | 11.543  | 7.118  | 4.846 | 1.472 | 61       | 0.052   | 0.026  | 0.350  | 0.670  |
| 28       | 0.172   | 0.227  | 0.991 | 5.099 | 62       | 1.095   | 0.443  | 0.352  | 0.866  |
| 29       | 4.746   | 2.570  | 2.682 | 5.297 | 63       | 1.815   | 0.685  | 0.232  | 0.333  |
| 30       | 6.235   | 3.369  | 2.527 | 4.335 | 64       | 3.354   | 3.065  | 3.701  | 3.403  |
| 31       | 2.948   | 0.150  | 1.060 | 0.902 | 65       | 2.857   | 2.246  | 2.024  | 2.282  |
| 32       | 6.230   | 1.623  | 1.862 | 2.163 | 66       | 2.929   | 2.592  | 2.486  | 2.677  |
| 33       | 3.254   | 0.262  | 0.683 | 0.323 | 67       | 4.018   | 2.726  | 3.177  | 2.367  |
| 34       | 1.029   | 0.947  | 1.291 | 0.728 | 68       | 3.970   | 0.966  | 0.330  | 0.158  |
| 35       | 6.733   | 3.830  | 3.322 | 3.959 | 69       | 1.988   | 2.909  | 3.546  | 4.584  |
| 36       | 3.769   | 2.991  | 2.141 | 2.683 | 70       | 6.744   | 4.935  | 5.416  | 5.560  |
| 37       | 1.912   | 3.502  | 2.833 | 3.183 | 71       | 7.546   | 5.784  | 5.131  | 5.751  |
| 38       | 0.234   | 2.262  | 2.732 | 2.941 | 72       | 0.987   | 0.403  | 0.074  | 0.254  |
| 39       | 1.051   | 2.406  | 3.595 | 3.901 | 73       | 3.408   | 1.769  | 2.331  | 1.944  |
| 40       | 4.294   | 4.423  | 4.863 | 5.334 | 74       | 11.527  | 5.126  | 5.574  | 5.088  |
| 41       | 7.103   | 6.888  | 7.157 | 8.076 | 75       | 8.091   | 9.726  | 8.188  | 6.417  |
| 42       | 5.430   | 5.743  | 5.600 | 6.677 | 76       | 2.135   | 5.054  | 5.693  | 4.574  |
| 43       | 4.567   | 3.438  | 3.222 | 1.515 | 77       | 0.981   | 1.369  | 2.243  | 2.400  |
| 44       | 9.482   | 6.411  | 5.897 | 3.996 | 78       | 1.251   | 2.572  | 3.497  | 4.373  |
| 45       | 11.633  | 7.725  | 6.171 | 4.526 | 79       | 3.588   | 3.672  | 4.117  | 5.419  |
| 46       | 0.714   | 0.825  | 0.744 | 0.079 | 80       | 1.420   | 0.922  | 1.082  | 2.374  |
| 47       | 4.160   | 1.358  | 0.801 | 0.651 | 81       | 2.608   | 2.468  | 2.528  | 1.120  |
| 48       | 1.459   | 0.000  | 0.861 | 1.635 | 82       | 8.585   | 7.494  | 7.410  | 6.298  |
| 49       | 4.498   | 3.607  | 4.531 | 5.714 | 83       | 11.605  | 10.944 | 10.703 | 9.901  |
| 50       | 8.979   | 6.756  | 6.622 | 8.238 | 84       | 10.464  | 11.798 | 11.531 | 11.084 |
| 51       | 4.649   | 4.224  | 3.572 | 4.941 | 85       | 5.026   | 8.145  | 8.468  | 8.403  |
| 52       | 4.113   | 2.135  | 2.379 | 1.264 | 86       | 2.118   | 3.114  | 4.251  | 4.960  |
| 53       | 12.209  | 8.950  | 8.148 | 7.166 | 87       | 5.799   | 0.036  | 2.113  | 4.282  |
| 54       | 11.961  | 10.088 | 8.704 | 6.975 | 88       | 2.730   | 2.109  | 1.078  | 5.330  |
| 55       | 2.118   | 4.365  | 3.746 | 2.448 | 89       | 1.823   | 2.831  | 2.759  | 3.942  |
| 56       | 3.610   | 0.674  | 1.154 | 0.353 | 90       | 3.145   | 4.607  | 4.905  | 1.251  |
| 57       | 6.844   | 2.998  | 1.102 | 1.174 | Ave.     | 4.496   | 3.582  | 3.576  | 3.638  |

[부록 A-6] Case 1., 장거리(안동포교회-부개성일아파트)

| 시간<br>단위 | MAPE(%) |       |       |       | 시간<br>단위 | MAPE(%) |       |       |       |
|----------|---------|-------|-------|-------|----------|---------|-------|-------|-------|
|          | n=2     | n=4   | n=5   | n=10  |          | n=2     | n=4   | n=5   | n=10  |
| 24       | 3.354   | 3.144 | 3.101 | 0.430 | 58       | 1.756   | 3.630 | 3.902 | 2.557 |
| 25       | 2.291   | 1.885 | 1.844 | 1.124 | 59       | 1.028   | 0.489 | 1.269 | 0.680 |
| 26       | 0.636   | 1.317 | 1.349 | 1.413 | 60       | 2.127   | 1.770 | 0.945 | 0.476 |
| 27       | 1.421   | 2.113 | 2.146 | 2.211 | 61       | 5.682   | 5.418 | 5.048 | 3.475 |
| 28       | 1.897   | 3.780 | 3.853 | 4.239 | 62       | 6.376   | 5.668 | 5.530 | 3.609 |
| 29       | 3.185   | 4.753 | 5.539 | 6.113 | 63       | 5.191   | 4.854 | 4.696 | 2.734 |
| 30       | 2.737   | 2.722 | 3.369 | 4.607 | 64       | 0.273   | 0.807 | 0.633 | 0.568 |
| 31       | 6.142   | 5.189 | 5.380 | 6.775 | 65       | 1.623   | 0.308 | 0.003 | 0.656 |
| 32       | 0.189   | 1.111 | 0.922 | 0.417 | 66       | 4.728   | 2.730 | 2.120 | 1.609 |
| 33       | 0.586   | 0.965 | 1.240 | 0.005 | 67       | 4.592   | 1.475 | 0.081 | 1.904 |
| 34       | 0.262   | 1.200 | 0.945 | 2.033 | 68       | 5.949   | 4.902 | 3.674 | 0.033 |
| 35       | 0.230   | 3.234 | 3.612 | 4.754 | 69       | 2.873   | 5.727 | 5.223 | 1.432 |
| 36       | 3.234   | 1.225 | 0.374 | 0.583 | 70       | 2.057   | 2.539 | 3.679 | 0.540 |
| 37       | 5.070   | 4.628 | 3.296 | 1.728 | 71       | 4.296   | 1.240 | 0.614 | 0.084 |
| 38       | 4.383   | 5.653 | 5.712 | 4.462 | 72       | 3.560   | 4.346 | 2.457 | 0.765 |
| 39       | 2.169   | 4.209 | 4.752 | 4.222 | 73       | 2.966   | 3.710 | 1.920 | 0.317 |
| 40       | 0.878   | 1.412 | 1.810 | 1.703 | 74       | 0.382   | 2.282 | 2.450 | 0.800 |
| 41       | 0.144   | 0.959 | 1.321 | 0.550 | 75       | 2.554   | 2.328 | 2.024 | 4.208 |
| 42       | 1.362   | 0.557 | 1.102 | 0.367 | 76       | 4.179   | 4.850 | 4.226 | 5.532 |
| 43       | 0.050   | 1.391 | 1.637 | 2.169 | 77       | 4.876   | 4.741 | 5.010 | 5.163 |
| 44       | 0.239   | 1.614 | 2.308 | 3.016 | 78       | 3.463   | 3.031 | 3.042 | 2.958 |
| 45       | 0.893   | 1.013 | 1.450 | 2.419 | 79       | 4.778   | 4.398 | 4.197 | 3.792 |
| 46       | 2.145   | 0.559 | 0.723 | 1.468 | 80       | 3.738   | 3.707 | 3.600 | 3.208 |
| 47       | 3.377   | 1.578 | 1.128 | 1.697 | 81       | 1.914   | 2.531 | 2.549 | 2.375 |
| 48       | 3.284   | 3.509 | 3.050 | 3.275 | 82       | 2.976   | 4.209 | 4.480 | 4.757 |
| 49       | 4.184   | 5.370 | 5.336 | 5.317 | 83       | 4.070   | 5.393 | 5.815 | 6.433 |
| 50       | 6.335   | 7.179 | 7.531 | 7.477 | 84       | 3.534   | 3.935 | 4.535 | 5.493 |
| 51       | 4.708   | 4.720 | 5.179 | 5.397 | 85       | 2.009   | 1.851 | 2.130 | 3.556 |
| 52       | 1.868   | 1.535 | 1.668 | 2.282 | 86       | 2.263   | 2.290 | 2.432 | 1.207 |
| 53       | 0.717   | 0.236 | 0.240 | 0.696 | 87       | 2.585   | 2.484 | 2.267 | 1.318 |
| 54       | 3.626   | 1.529 | 1.271 | 0.130 | 88       | 7.062   | 5.003 | 4.824 | 3.907 |
| 55       | 5.811   | 2.606 | 1.835 | 0.131 | 89       | 7.448   | 4.665 | 4.289 | 3.222 |
| 56       | 7.544   | 5.711 | 4.542 | 2.512 | 90       | 5.608   | 5.830 | 4.511 | 3.388 |
| 57       | 3.879   | 4.903 | 4.489 | 2.560 | Ave.     | 3.095   | 3.084 | 2.959 | 2.553 |

[부록 A-7] Case 2., 단거리(안동포교회-서해아파트)

| 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        | 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        |
|----------|---------|--------|--------|--------|----------|---------|--------|--------|--------|
|          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |
| 24       | 0.408   | 2.040  | 3.357  | 7.319  | 58       | 2.227   | 3.392  | 4.587  | 3.618  |
| 25       | 1.458   | 3.523  | 4.943  | 8.999  | 59       | 13.098  | 12.066 | 12.979 | 12.851 |
| 26       | 9.361   | 8.169  | 6.851  | 1.569  | 60       | 12.164  | 11.748 | 11.195 | 12.175 |
| 27       | 10.656  | 10.281 | 9.824  | 3.906  | 61       | 3.917   | 8.501  | 8.504  | 9.852  |
| 28       | 7.268   | 9.593  | 9.663  | 5.456  | 62       | 15.375  | 0.815  | 0.640  | 1.238  |
| 29       | 3.719   | 9.306  | 10.536 | 8.581  | 63       | 12.938  | 9.019  | 4.413  | 1.524  |
| 30       | 3.217   | 7.854  | 9.599  | 10.754 | 64       | 3.158   | 4.985  | 4.709  | 0.791  |
| 31       | 0.554   | 2.229  | 5.933  | 10.148 | 65       | 4.571   | 7.389  | 8.221  | 6.846  |
| 32       | 3.996   | 5.463  | 9.031  | 13.050 | 66       | 4.474   | 6.657  | 7.657  | 7.356  |
| 33       | 7.001   | 8.653  | 9.261  | 15.956 | 67       | 2.151   | 0.669  | 0.409  | 2.162  |
| 34       | 10.735  | 11.112 | 11.655 | 18.039 | 68       | 10.107  | 7.748  | 6.918  | 4.119  |
| 35       | 2.325   | 2.689  | 3.452  | 10.309 | 69       | 6.045   | 5.823  | 5.450  | 1.342  |
| 36       | 9.388   | 4.032  | 3.134  | 2.386  | 70       | 10.993  | 10.728 | 10.282 | 5.732  |
| 37       | 4.338   | 3.634  | 1.968  | 1.193  | 71       | 34.689  | 39.109 | 38.437 | 35.582 |
| 38       | 5.275   | 2.575  | 2.955  | 5.690  | 72       | 33.377  | 37.893 | 39.339 | 36.739 |
| 39       | 3.041   | 0.625  | 0.052  | 2.122  | 73       | 35.425  | 36.573 | 39.158 | 39.260 |
| 40       | 2.593   | 1.242  | 2.346  | 1.145  | 74       | 28.273  | 29.497 | 32.308 | 32.418 |
| 41       | 6.742   | 4.395  | 4.437  | 4.492  | 75       | 29.052  | 30.154 | 32.688 | 32.795 |
| 42       | 3.269   | 3.887  | 3.261  | 3.791  | 76       | 24.442  | 27.777 | 29.416 | 32.993 |
| 43       | 6.460   | 5.053  | 5.110  | 4.577  | 77       | 8.489   | 17.625 | 18.179 | 24.039 |
| 44       | 14.780  | 13.544 | 12.940 | 12.015 | 78       | 1.632   | 17.969 | 20.759 | 25.877 |
| 45       | 14.215  | 15.194 | 14.868 | 14.203 | 79       | 7.021   | 6.379  | 6.163  | 22.159 |
| 46       | 0.873   | 6.869  | 7.012  | 6.888  | 80       | 1.553   | 1.768  | 1.978  | 8.534  |
| 47       | 11.883  | 1.167  | 0.763  | 1.521  | 81       | 5.236   | 6.790  | 6.424  | 3.125  |
| 48       | 6.116   | 5.192  | 1.730  | 0.814  | 82       | 18.263  | 18.383 | 18.763 | 19.304 |
| 49       | 3.394   | 0.883  | 1.028  | 5.210  | 83       | 24.372  | 25.167 | 25.874 | 27.994 |
| 50       | 5.444   | 3.370  | 2.849  | 6.022  | 84       | 27.791  | 30.268 | 30.765 | 33.884 |
| 51       | 0.941   | 0.987  | 0.490  | 2.553  | 85       | 25.391  | 29.258 | 30.694 | 33.566 |
| 52       | 8.428   | 4.885  | 5.169  | 3.871  | 86       | 7.296   | 13.882 | 15.346 | 19.513 |
| 53       | 5.671   | 4.742  | 4.050  | 3.780  | 87       | 11.191  | 0.797  | 3.349  | 9.010  |
| 54       | 5.106   | 3.154  | 3.356  | 2.507  | 88       | 17.568  | 11.121 | 7.334  | 0.502  |
| 55       | 5.136   | 3.038  | 2.195  | 1.027  | 89       | 8.891   | 11.382 | 8.893  | 0.497  |
| 56       | 2.712   | 3.202  | 2.464  | 1.620  | 90       | 15.323  | 8.397  | 6.991  | 16.631 |
| 57       | 5.027   | 0.452  | 0.947  | 1.833  | Ave.     | 9.821   | 9.892  | 10.090 | 10.856 |

[부록 A-8] Case 2., 단거리(서해아파트-오조산공원)

| 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |       | 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        |
|----------|---------|--------|--------|-------|----------|---------|--------|--------|--------|
|          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10  |          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |
| 24       | 0.701   | 2.291  | 3.278  | 5.253 | 58       | 0.369   | 1.864  | 2.587  | 4.792  |
| 25       | 0.555   | 0.569  | 1.408  | 3.963 | 59       | 0.884   | 0.499  | 1.221  | 3.610  |
| 26       | 3.593   | 3.593  | 3.274  | 0.320 | 60       | 3.554   | 3.066  | 3.849  | 6.280  |
| 27       | 2.113   | 2.186  | 1.794  | 0.329 | 61       | 7.734   | 7.460  | 7.643  | 9.691  |
| 28       | 6.949   | 7.680  | 8.201  | 6.517 | 62       | 8.367   | 9.074  | 8.833  | 10.735 |
| 29       | 5.085   | 7.098  | 7.158  | 6.289 | 63       | 2.438   | 4.557  | 5.103  | 6.821  |
| 30       | 5.430   | 7.688  | 8.660  | 9.034 | 64       | 15.913  | 11.503 | 10.580 | 7.928  |
| 31       | 3.642   | 1.625  | 3.595  | 6.484 | 65       | 13.881  | 11.801 | 10.048 | 7.137  |
| 32       | 6.959   | 3.770  | 2.819  | 1.924 | 66       | 2.580   | 6.422  | 5.990  | 3.658  |
| 33       | 4.408   | 5.360  | 3.055  | 2.042 | 67       | 15.503  | 6.657  | 5.410  | 6.739  |
| 34       | 4.983   | 7.299  | 7.830  | 3.308 | 68       | 12.226  | 9.662  | 7.224  | 6.923  |
| 35       | 8.099   | 10.227 | 10.946 | 7.869 | 69       | 7.622   | 11.666 | 9.917  | 8.343  |
| 36       | 2.718   | 1.257  | 0.118  | 0.530 | 70       | 7.135   | 12.601 | 14.150 | 11.818 |
| 37       | 10.326  | 7.648  | 6.618  | 4.310 | 71       | 2.993   | 0.737  | 3.139  | 2.719  |
| 38       | 8.312   | 7.407  | 6.955  | 4.892 | 72       | 16.779  | 12.570 | 9.831  | 10.339 |
| 39       | 2.200   | 2.653  | 2.097  | 0.245 | 73       | 26.204  | 25.783 | 25.333 | 19.980 |
| 40       | 3.032   | 2.313  | 2.991  | 1.058 | 74       | 20.973  | 26.133 | 26.546 | 23.370 |
| 41       | 0.549   | 0.704  | 3.730  | 3.257 | 75       | 12.682  | 20.835 | 22.312 | 21.048 |
| 42       | 0.336   | 1.669  | 1.218  | 1.694 | 76       | 13.282  | 23.745 | 27.313 | 29.394 |
| 43       | 0.231   | 0.040  | 0.343  | 2.657 | 77       | 9.956   | 19.160 | 24.605 | 31.342 |
| 44       | 1.349   | 0.650  | 1.440  | 0.691 | 78       | 0.304   | 6.371  | 11.215 | 23.460 |
| 45       | 1.751   | 1.994  | 1.601  | 0.019 | 79       | 16.858  | 10.148 | 6.770  | 7.014  |
| 46       | 4.021   | 3.748  | 3.815  | 4.895 | 80       | 19.921  | 19.443 | 18.142 | 3.909  |
| 47       | 6.355   | 5.904  | 5.678  | 5.436 | 81       | 14.501  | 16.925 | 17.336 | 10.003 |
| 48       | 3.900   | 4.223  | 4.338  | 4.066 | 82       | 5.986   | 9.350  | 10.090 | 9.164  |
| 49       | 5.011   | 1.858  | 1.778  | 1.529 | 83       | 6.152   | 0.989  | 0.452  | 2.943  |
| 50       | 5.615   | 3.333  | 2.802  | 2.094 | 84       | 14.046  | 10.213 | 8.579  | 4.711  |
| 51       | 0.787   | 2.342  | 1.317  | 0.355 | 85       | 5.554   | 6.866  | 5.416  | 1.594  |
| 52       | 0.109   | 2.252  | 2.681  | 1.694 | 86       | 0.184   | 4.278  | 4.410  | 0.798  |
| 53       | 0.912   | 1.700  | 2.365  | 1.994 | 87       | 3.448   | 0.473  | 2.201  | 0.176  |
| 54       | 2.300   | 1.862  | 2.642  | 3.118 | 88       | 1.976   | 1.883  | 0.146  | 0.175  |
| 55       | 3.499   | 3.880  | 3.834  | 5.175 | 89       | 3.604   | 4.582  | 4.132  | 2.473  |
| 56       | 5.029   | 5.526  | 5.504  | 6.274 | 90       | 6.825   | 5.861  | 5.204  | 8.172  |
| 57       | 1.154   | 2.170  | 2.547  | 3.586 | Ave.     | 6.305   | 6.682  | 6.778  | 6.271  |

[부록 A-9] Case 2., 단거리(오조산공원-부개성일아파트)

| 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        | 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        |
|----------|---------|--------|--------|--------|----------|---------|--------|--------|--------|
|          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |
| 24       | 1.683   | 3.209  | 3.613  | 4.419  | 58       | 1.222   | 1.954  | 2.174  | 2.607  |
| 25       | 1.443   | 3.550  | 4.106  | 5.075  | 59       | 0.554   | 1.766  | 2.204  | 3.733  |
| 26       | 2.439   | 1.550  | 0.644  | 1.000  | 60       | 5.887   | 4.369  | 3.882  | 2.929  |
| 27       | 1.009   | 1.539  | 2.368  | 5.133  | 61       | 0.184   | 0.475  | 0.204  | 1.251  |
| 28       | 0.739   | 0.234  | 0.555  | 3.195  | 62       | 1.578   | 0.199  | 0.849  | 1.947  |
| 29       | 0.819   | 0.636  | 0.684  | 3.029  | 63       | 1.886   | 0.649  | 0.675  | 1.118  |
| 30       | 4.068   | 4.647  | 4.606  | 2.546  | 64       | 4.705   | 4.098  | 3.968  | 3.724  |
| 31       | 3.364   | 3.034  | 3.373  | 2.203  | 65       | 3.318   | 2.330  | 2.861  | 2.670  |
| 32       | 1.461   | 0.199  | 0.629  | 0.508  | 66       | 0.237   | 1.459  | 0.716  | 1.740  |
| 33       | 9.696   | 6.961  | 6.208  | 5.882  | 67       | 7.756   | 4.697  | 4.315  | 3.738  |
| 34       | 11.462  | 11.572 | 10.934 | 9.746  | 68       | 6.163   | 5.870  | 5.066  | 3.664  |
| 35       | 0.256   | 4.178  | 3.857  | 3.488  | 69       | 2.570   | 5.016  | 4.691  | 4.214  |
| 36       | 4.110   | 0.092  | 1.219  | 1.450  | 70       | 8.182   | 4.571  | 3.445  | 3.673  |
| 37       | 4.944   | 3.942  | 2.515  | 0.848  | 71       | 14.483  | 12.803 | 11.490 | 9.998  |
| 38       | 3.366   | 5.259  | 4.311  | 1.951  | 72       | 19.084  | 21.332 | 20.289 | 18.487 |
| 39       | 10.884  | 12.638 | 13.155 | 10.888 | 73       | 8.020   | 14.715 | 15.761 | 14.125 |
| 40       | 6.988   | 8.224  | 9.118  | 8.087  | 74       | 2.918   | 6.714  | 9.082  | 9.134  |
| 41       | 0.929   | 1.439  | 2.141  | 2.622  | 75       | 11.686  | 4.909  | 0.269  | 3.097  |
| 42       | 9.810   | 5.115  | 3.896  | 1.897  | 76       | 7.166   | 7.592  | 4.732  | 2.957  |
| 43       | 13.421  | 12.861 | 11.702 | 8.418  | 77       | 1.359   | 1.449  | 1.532  | 6.121  |
| 44       | 5.278   | 8.106  | 7.635  | 4.832  | 78       | 7.752   | 5.745  | 4.705  | 10.001 |
| 45       | 3.022   | 7.199  | 8.464  | 7.154  | 79       | 7.917   | 7.787  | 7.271  | 9.749  |
| 46       | 0.908   | 4.533  | 6.298  | 7.307  | 80       | 1.868   | 0.107  | 0.221  | 1.076  |
| 47       | 4.459   | 5.393  | 7.171  | 10.367 | 81       | 10.050  | 6.315  | 5.507  | 5.747  |
| 48       | 4.025   | 4.456  | 5.551  | 9.914  | 82       | 8.175   | 8.235  | 7.514  | 7.732  |
| 49       | 1.724   | 2.806  | 2.765  | 8.155  | 83       | 8.117   | 10.168 | 10.323 | 10.621 |
| 50       | 1.474   | 0.543  | 1.291  | 6.232  | 84       | 4.060   | 1.577  | 0.988  | 0.003  |
| 51       | 2.951   | 1.683  | 1.074  | 3.693  | 85       | 9.536   | 6.845  | 5.762  | 3.504  |
| 52       | 0.031   | 0.473  | 0.390  | 3.938  | 86       | 9.964   | 9.316  | 8.345  | 6.289  |
| 53       | 0.335   | 0.775  | 0.926  | 1.422  | 87       | 1.115   | 6.167  | 6.078  | 3.425  |
| 54       | 0.527   | 0.064  | 0.422  | 1.022  | 88       | 6.164   | 0.934  | 0.420  | 1.897  |
| 55       | 2.912   | 2.709  | 2.835  | 2.331  | 89       | 11.532  | 10.456 | 6.310  | 6.746  |
| 56       | 0.071   | 0.028  | 0.024  | 0.038  | 90       | 3.019   | 5.016  | 4.964  | 2.191  |
| 57       | 7.174   | 7.931  | 7.911  | 8.319  | Ave.     | 4.866   | 4.824  | 4.612  | 4.881  |

[부록 A-10] Case 2., 중거리(안동포교회-공촌정수장)

| 시간<br>단위 | MAPE(%) |       |       |        | 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        |
|----------|---------|-------|-------|--------|----------|---------|--------|--------|--------|
|          | n=2     | n=4   | n=5   | n=10   |          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |
| 24       | 0.467   | 1.081 | 1.109 | 1.165  | 58       | 1.068   | 4.594  | 4.303  | 2.479  |
| 25       | 4.397   | 4.470 | 4.651 | 4.849  | 59       | 5.118   | 8.925  | 10.012 | 8.577  |
| 26       | 2.337   | 1.973 | 1.583 | 1.123  | 60       | 6.165   | 6.908  | 9.105  | 8.988  |
| 27       | 6.097   | 4.543 | 4.506 | 3.294  | 61       | 10.511  | 9.867  | 10.320 | 12.314 |
| 28       | 3.294   | 2.821 | 2.254 | 1.358  | 62       | 3.011   | 3.988  | 4.238  | 7.291  |
| 29       | 4.148   | 3.596 | 2.969 | 1.986  | 63       | 3.115   | 0.701  | 0.590  | 4.008  |
| 30       | 2.273   | 2.103 | 2.381 | 1.456  | 64       | 8.056   | 4.797  | 3.695  | 0.226  |
| 31       | 3.074   | 0.204 | 0.512 | 0.250  | 65       | 11.261  | 10.868 | 8.389  | 3.765  |
| 32       | 1.972   | 1.016 | 3.277 | 3.695  | 66       | 7.163   | 8.854  | 9.064  | 4.556  |
| 33       | 3.286   | 2.618 | 2.609 | 4.987  | 67       | 4.203   | 1.147  | 0.469  | 1.751  |
| 34       | 9.808   | 9.391 | 8.766 | 10.390 | 68       | 10.917  | 7.260  | 5.887  | 4.911  |
| 35       | 5.160   | 5.279 | 5.354 | 6.752  | 69       | 11.027  | 8.798  | 7.387  | 5.079  |
| 36       | 0.065   | 1.920 | 2.031 | 3.394  | 70       | 11.924  | 14.610 | 13.530 | 10.109 |
| 37       | 6.042   | 2.994 | 2.319 | 0.606  | 71       | 33.695  | 36.002 | 35.060 | 32.136 |
| 38       | 0.837   | 1.327 | 2.442 | 3.644  | 72       | 27.629  | 34.737 | 35.188 | 31.514 |
| 39       | 0.279   | 0.708 | 0.111 | 1.878  | 73       | 28.046  | 32.142 | 34.680 | 32.673 |
| 40       | 0.078   | 2.609 | 2.497 | 0.512  | 74       | 18.184  | 19.434 | 23.210 | 24.957 |
| 41       | 5.442   | 5.982 | 6.971 | 5.150  | 75       | 17.462  | 18.604 | 22.092 | 23.718 |
| 42       | 8.343   | 6.406 | 6.790 | 6.175  | 76       | 16.934  | 18.026 | 21.216 | 22.713 |
| 43       | 1.393   | 0.835 | 0.470 | 1.516  | 77       | 2.883   | 7.504  | 8.547  | 14.125 |
| 44       | 9.181   | 7.088 | 6.237 | 5.131  | 78       | 7.145   | 9.840  | 10.659 | 16.566 |
| 45       | 10.168  | 9.982 | 9.344 | 8.021  | 79       | 3.944   | 6.468  | 9.408  | 15.469 |
| 46       | 8.078   | 7.897 | 7.276 | 5.987  | 80       | 2.281   | 3.492  | 3.752  | 6.712  |
| 47       | 1.591   | 4.361 | 4.258 | 3.373  | 81       | 0.594   | 0.517  | 0.951  | 3.555  |
| 48       | 0.857   | 3.310 | 4.131 | 4.054  | 82       | 8.625   | 9.983  | 10.253 | 6.472  |
| 49       | 2.583   | 1.907 | 3.478 | 5.567  | 83       | 20.343  | 19.764 | 20.007 | 20.737 |
| 50       | 1.698   | 1.096 | 2.495 | 4.547  | 84       | 34.520  | 35.740 | 34.672 | 35.892 |
| 51       | 2.023   | 2.993 | 2.859 | 0.668  | 85       | 26.114  | 27.513 | 28.394 | 30.104 |
| 52       | 8.086   | 7.096 | 7.573 | 3.737  | 86       | 5.217   | 10.833 | 12.050 | 15.218 |
| 53       | 8.741   | 7.354 | 7.468 | 4.487  | 87       | 10.323  | 0.757  | 2.756  | 7.019  |
| 54       | 3.115   | 0.533 | 0.095 | 0.161  | 88       | 10.369  | 6.534  | 3.571  | 1.294  |
| 55       | 6.573   | 4.208 | 3.349 | 2.074  | 89       | 6.717   | 8.907  | 6.922  | 0.831  |
| 56       | 9.276   | 6.615 | 5.759 | 4.065  | 90       | 11.253  | 8.529  | 10.946 | 19.325 |
| 57       | 4.456   | 4.573 | 3.476 | 1.354  | Ave.     | 7.926   | 8.023  | 8.250  | 8.246  |

[부록 A-11] Case 2., 중거리(공촌정수장-부개성일아파트)

| 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        | 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        |
|----------|---------|--------|--------|--------|----------|---------|--------|--------|--------|
|          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |
| 24       | 2.897   | 3.659  | 3.872  | 3.121  | 58       | 0.828   | 1.443  | 1.537  | 2.815  |
| 25       | 0.501   | 1.950  | 2.429  | 3.408  | 59       | 1.427   | 1.676  | 1.963  | 2.945  |
| 26       | 2.230   | 0.515  | 0.042  | 1.554  | 60       | 1.922   | 1.649  | 1.482  | 0.079  |
| 27       | 0.033   | 1.015  | 1.876  | 3.853  | 61       | 0.719   | 0.139  | 0.389  | 1.279  |
| 28       | 0.982   | 0.615  | 1.084  | 3.329  | 62       | 1.939   | 2.070  | 2.080  | 3.082  |
| 29       | 1.123   | 0.299  | 0.291  | 1.892  | 63       | 1.958   | 1.168  | 1.563  | 2.076  |
| 30       | 3.361   | 3.552  | 3.879  | 2.327  | 64       | 4.109   | 4.667  | 5.150  | 4.277  |
| 31       | 4.796   | 3.749  | 3.847  | 2.914  | 65       | 6.249   | 5.250  | 5.201  | 4.791  |
| 32       | 3.318   | 2.792  | 2.680  | 2.226  | 66       | 7.095   | 5.507  | 5.441  | 4.898  |
| 33       | 1.465   | 0.039  | 0.275  | 0.029  | 67       | 2.012   | 0.346  | 0.863  | 0.712  |
| 34       | 7.757   | 4.217  | 3.459  | 2.735  | 68       | 8.014   | 2.325  | 2.097  | 1.984  |
| 35       | 2.502   | 1.426  | 0.485  | 0.812  | 69       | 8.848   | 6.071  | 4.270  | 3.353  |
| 36       | 4.647   | 6.064  | 5.336  | 4.036  | 70       | 0.232   | 2.418  | 0.756  | 0.807  |
| 37       | 0.972   | 1.224  | 1.816  | 0.685  | 71       | 11.875  | 8.648  | 7.835  | 9.731  |
| 38       | 0.768   | 1.672  | 2.439  | 1.973  | 72       | 24.076  | 21.594 | 20.263 | 20.572 |
| 39       | 7.961   | 7.980  | 7.252  | 6.746  | 73       | 19.467  | 19.877 | 18.499 | 18.123 |
| 40       | 5.711   | 5.165  | 4.982  | 3.895  | 74       | 6.786   | 12.087 | 12.502 | 11.494 |
| 41       | 1.160   | 1.293  | 1.470  | 0.392  | 75       | 9.794   | 3.185  | 4.807  | 4.274  |
| 42       | 2.342   | 0.952  | 1.055  | 1.438  | 76       | 10.851  | 0.967  | 5.365  | 6.164  |
| 43       | 8.657   | 5.981  | 5.093  | 5.063  | 77       | 1.770   | 1.129  | 6.337  | 11.628 |
| 44       | 2.763   | 2.651  | 2.249  | 1.368  | 78       | 11.006  | 8.647  | 8.389  | 14.931 |
| 45       | 2.095   | 4.229  | 3.584  | 2.523  | 79       | 6.949   | 5.475  | 5.027  | 9.597  |
| 46       | 5.762   | 8.383  | 9.452  | 8.494  | 80       | 2.384   | 1.100  | 1.704  | 1.205  |
| 47       | 9.961   | 11.224 | 12.282 | 12.647 | 81       | 8.169   | 4.944  | 5.059  | 3.228  |
| 48       | 12.872  | 12.371 | 12.933 | 14.070 | 82       | 10.059  | 7.572  | 6.577  | 5.973  |
| 49       | 4.096   | 4.867  | 5.321  | 7.384  | 83       | 8.230   | 9.286  | 9.025  | 8.963  |
| 50       | 1.839   | 2.302  | 2.268  | 4.781  | 84       | 1.987   | 0.033  | 0.482  | 1.093  |
| 51       | 7.781   | 1.952  | 0.426  | 2.405  | 85       | 6.603   | 4.369  | 3.690  | 2.613  |
| 52       | 3.997   | 3.563  | 0.798  | 2.787  | 86       | 8.945   | 7.190  | 6.253  | 4.622  |
| 53       | 3.830   | 5.149  | 4.917  | 0.096  | 87       | 5.689   | 5.782  | 5.172  | 3.093  |
| 54       | 1.791   | 4.057  | 4.626  | 0.869  | 88       | 3.573   | 0.378  | 0.432  | 1.556  |
| 55       | 3.068   | 4.130  | 4.668  | 3.269  | 89       | 8.769   | 4.298  | 3.470  | 4.828  |
| 56       | 0.130   | 0.087  | 0.396  | 0.170  | 90       | 6.577   | 5.937  | 2.467  | 2.420  |
| 57       | 3.680   | 4.278  | 4.657  | 5.471  | Ave.     | 5.161   | 4.338  | 4.304  | 4.447  |



[부록 A-12] Case 2., 장거리(안동포교회-부개성일아파트)

| 시간<br>단위 | MAPE(%) |       |       |       | 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        |
|----------|---------|-------|-------|-------|----------|---------|--------|--------|--------|
|          | n=2     | n=4   | n=5   | n=10  |          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |
| 24       | 3.040   | 3.001 | 2.993 | 2.857 | 58       | 5.125   | 3.799  | 3.558  | 3.360  |
| 25       | 3.319   | 3.861 | 3.973 | 4.305 | 59       | 7.613   | 7.730  | 7.310  | 7.272  |
| 26       | 0.982   | 0.247 | 0.483 | 0.987 | 60       | 5.186   | 6.791  | 6.693  | 6.996  |
| 27       | 1.212   | 0.014 | 0.420 | 1.361 | 61       | 6.333   | 8.099  | 8.687  | 9.215  |
| 28       | 0.529   | 0.714 | 1.166 | 2.138 | 62       | 3.754   | 4.951  | 5.733  | 6.730  |
| 29       | 1.754   | 1.000 | 0.362 | 0.847 | 63       | 0.943   | 1.456  | 2.223  | 3.720  |
| 30       | 3.822   | 3.493 | 3.180 | 1.392 | 64       | 4.645   | 4.084  | 3.667  | 1.575  |
| 31       | 2.103   | 2.577 | 2.383 | 0.923 | 65       | 7.578   | 5.802  | 5.377  | 2.533  |
| 32       | 2.269   | 3.283 | 3.538 | 2.506 | 66       | 7.702   | 5.732  | 5.353  | 1.749  |
| 33       | 1.855   | 2.858 | 3.113 | 2.086 | 67       | 4.139   | 2.626  | 0.692  | 3.424  |
| 34       | 4.404   | 4.625 | 4.771 | 4.177 | 68       | 0.805   | 0.252  | 0.411  | 3.868  |
| 35       | 4.103   | 3.646 | 4.271 | 4.163 | 69       | 8.077   | 4.478  | 3.736  | 4.047  |
| 36       | 1.037   | 0.276 | 0.399 | 0.526 | 70       | 15.252  | 10.184 | 8.779  | 7.044  |
| 37       | 1.676   | 0.555 | 0.415 | 0.471 | 71       | 27.881  | 26.232 | 24.758 | 22.011 |
| 38       | 0.048   | 0.568 | 1.103 | 2.225 | 72       | 28.366  | 26.500 | 24.836 | 21.727 |
| 39       | 2.903   | 3.551 | 4.022 | 5.347 | 73       | 24.783  | 27.995 | 26.808 | 23.546 |
| 40       | 0.096   | 0.524 | 0.678 | 2.241 | 74       | 13.402  | 20.512 | 21.579 | 18.274 |
| 41       | 1.809   | 2.630 | 2.761 | 1.804 | 75       | 13.418  | 16.822 | 18.596 | 17.679 |
| 42       | 1.700   | 3.141 | 3.307 | 2.968 | 76       | 10.942  | 13.951 | 15.543 | 14.722 |
| 43       | 2.556   | 2.703 | 3.143 | 3.160 | 77       | 2.374   | 2.697  | 4.806  | 5.915  |
| 44       | 0.164   | 1.576 | 1.328 | 1.032 | 78       | 1.034   | 1.357  | 3.311  | 4.357  |
| 45       | 0.154   | 1.373 | 1.825 | 1.506 | 79       | 0.592   | 0.572  | 1.013  | 4.431  |
| 46       | 1.738   | 2.672 | 2.286 | 2.542 | 80       | 6.228   | 0.279  | 0.057  | 3.499  |
| 47       | 2.959   | 4.911 | 5.044 | 5.208 | 81       | 5.506   | 0.539  | 0.866  | 4.510  |
| 48       | 3.233   | 4.218 | 4.829 | 5.235 | 82       | 7.946   | 8.049  | 4.064  | 0.088  |
| 49       | 0.367   | 0.215 | 0.201 | 0.710 | 83       | 7.698   | 8.417  | 8.722  | 6.514  |
| 50       | 1.845   | 0.001 | 0.159 | 0.271 | 84       | 16.662  | 17.765 | 18.021 | 17.278 |
| 51       | 1.339   | 1.088 | 0.724 | 1.166 | 85       | 17.957  | 18.517 | 18.857 | 19.296 |
| 52       | 1.062   | 3.434 | 3.077 | 3.653 | 86       | 15.760  | 15.983 | 16.242 | 17.293 |
| 53       | 1.903   | 1.173 | 1.902 | 2.415 | 87       | 10.268  | 10.749 | 10.962 | 11.990 |
| 54       | 1.750   | 1.728 | 0.633 | 0.115 | 88       | 2.829   | 4.178  | 4.603  | 5.602  |
| 55       | 1.562   | 3.657 | 3.419 | 2.463 | 89       | 3.160   | 0.007  | 0.722  | 2.573  |
| 56       | 2.392   | 3.409 | 3.888 | 2.973 | 90       | 2.900   | 7.587  | 9.004  | 11.995 |
| 57       | 4.851   | 3.913 | 4.557 | 3.938 | Ave.     | 5.424   | 5.542  | 5.611  | 5.590  |

[부록 A-13] Case 3., 단거리(안동포교회-서해아파트)

| 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        | 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        |
|----------|---------|--------|--------|--------|----------|---------|--------|--------|--------|
|          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |
| 24       | 1.077   | 2.199  | 2.852  | 4.157  | 58       | 13.450  | 14.209 | 14.163 | 11.180 |
| 25       | 4.867   | 5.639  | 6.721  | 8.690  | 59       | 7.907   | 10.697 | 10.636 | 8.802  |
| 26       | 6.015   | 5.476  | 6.717  | 9.897  | 60       | 0.386   | 4.813  | 6.383  | 5.642  |
| 27       | 2.591   | 1.053  | 1.273  | 3.069  | 61       | 12.121  | 6.102  | 3.812  | 2.021  |
| 28       | 14.633  | 11.056 | 10.398 | 6.651  | 62       | 16.172  | 15.329 | 13.397 | 9.304  |
| 29       | 13.640  | 13.674 | 13.084 | 9.858  | 63       | 6.899   | 10.103 | 9.501  | 5.311  |
| 30       | 11.398  | 16.858 | 16.733 | 15.054 | 64       | 0.433   | 5.682  | 7.184  | 4.840  |
| 31       | 4.690   | 12.332 | 14.455 | 15.049 | 65       | 15.887  | 10.610 | 8.466  | 8.483  |
| 32       | 3.335   | 10.984 | 13.103 | 13.684 | 66       | 13.412  | 13.089 | 10.247 | 6.803  |
| 33       | 0.048   | 5.257  | 8.126  | 11.922 | 67       | 7.132   | 12.644 | 12.073 | 6.452  |
| 34       | 0.744   | 3.152  | 6.412  | 12.736 | 68       | 1.606   | 9.140  | 12.106 | 6.604  |
| 35       | 0.101   | 0.668  | 0.120  | 8.622  | 69       | 5.824   | 11.210 | 14.909 | 13.232 |
| 36       | 4.834   | 4.698  | 4.856  | 2.839  | 70       | 11.753  | 10.475 | 17.811 | 23.100 |
| 37       | 14.782  | 14.129 | 14.335 | 8.875  | 71       | 6.587   | 9.116  | 7.988  | 26.645 |
| 38       | 27.249  | 29.072 | 29.244 | 26.631 | 72       | 3.342   | 5.280  | 7.019  | 31.611 |
| 39       | 10.118  | 14.918 | 15.812 | 17.410 | 73       | 6.531   | 0.667  | 1.781  | 25.203 |
| 40       | 8.258   | 0.697  | 1.271  | 4.653  | 74       | 5.062   | 6.238  | 3.196  | 13.456 |
| 41       | 9.768   | 3.713  | 1.386  | 3.608  | 75       | 7.117   | 9.038  | 8.772  | 0.843  |
| 42       | 1.244   | 3.253  | 1.157  | 3.870  | 76       | 5.972   | 7.290  | 8.260  | 5.355  |
| 43       | 4.260   | 7.892  | 7.654  | 3.059  | 77       | 3.990   | 2.157  | 1.518  | 2.507  |
| 44       | 14.950  | 15.801 | 17.318 | 13.648 | 78       | 4.392   | 2.892  | 2.382  | 1.964  |
| 45       | 7.026   | 7.823  | 9.210  | 8.252  | 79       | 0.142   | 0.039  | 0.310  | 0.967  |
| 46       | 6.710   | 1.205  | 0.582  | 1.556  | 80       | 0.353   | 0.853  | 0.774  | 0.062  |
| 47       | 14.194  | 8.235  | 6.773  | 3.209  | 81       | 3.515   | 3.236  | 3.024  | 3.659  |
| 48       | 6.300   | 8.029  | 6.129  | 2.709  | 82       | 3.133   | 2.766  | 3.127  | 2.996  |
| 49       | 7.060   | 11.842 | 11.957 | 7.657  | 83       | 2.604   | 1.912  | 1.531  | 1.437  |
| 50       | 5.764   | 9.489  | 11.332 | 9.613  | 84       | 3.766   | 3.500  | 3.248  | 3.358  |
| 51       | 1.322   | 1.164  | 3.010  | 4.524  | 85       | 1.226   | 2.807  | 2.879  | 2.918  |
| 52       | 7.806   | 5.495  | 4.054  | 0.935  | 86       | 9.564   | 8.484  | 8.491  | 8.111  |
| 53       | 4.845   | 4.477  | 4.013  | 0.169  | 87       | 13.031  | 12.494 | 11.004 | 10.490 |
| 54       | 4.968   | 7.588  | 7.366  | 3.916  | 88       | 9.562   | 11.765 | 12.533 | 12.858 |
| 55       | 1.732   | 4.612  | 5.357  | 2.632  | 89       | 0.398   | 5.662  | 6.513  | 7.983  |
| 56       | 3.639   | 1.759  | 0.031  | 0.213  | 90       | 5.063   | 0.337  | 1.725  | 4.923  |
| 57       | 9.012   | 7.395  | 6.128  | 3.600  | Ave.     | 6.676   | 7.347  | 7.548  | 7.942  |

[부록 A-14] Case 3., 단거리(서해아파트-오조산공원)

| 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        | 시간<br>단위 | MAPE(%) |       |       |       |
|----------|---------|--------|--------|--------|----------|---------|-------|-------|-------|
|          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |          | n=2     | n=4   | n=5   | n=10  |
| 24       | 0.307   | 1.994  | 1.228  | 0.304  | 58       | 3.605   | 3.337 | 3.669 | 2.951 |
| 25       | 1.109   | 4.374  | 4.887  | 3.306  | 59       | 7.741   | 6.532 | 6.141 | 6.250 |
| 26       | 4.677   | 5.474  | 6.493  | 5.755  | 60       | 5.157   | 6.393 | 6.808 | 8.195 |
| 27       | 3.261   | 2.860  | 3.861  | 4.528  | 61       | 0.282   | 2.318 | 2.324 | 3.967 |
| 28       | 0.730   | 0.850  | 0.867  | 2.969  | 62       | 1.756   | 3.578 | 4.750 | 6.471 |
| 29       | 4.503   | 2.253  | 2.038  | 0.490  | 63       | 1.984   | 1.646 | 1.096 | 0.887 |
| 30       | 4.518   | 4.591  | 3.401  | 0.320  | 64       | 5.867   | 5.842 | 6.409 | 8.716 |
| 31       | 11.363  | 13.192 | 13.125 | 9.908  | 65       | 6.746   | 6.868 | 6.788 | 9.201 |
| 32       | 6.679   | 8.955  | 9.742  | 8.108  | 66       | 3.319   | 4.137 | 4.231 | 6.557 |
| 33       | 2.687   | 0.691  | 1.989  | 3.192  | 67       | 4.904   | 0.521 | 0.618 | 3.591 |
| 34       | 16.026  | 10.991 | 9.322  | 6.455  | 68       | 4.612   | 2.117 | 1.703 | 1.408 |
| 35       | 12.537  | 12.696 | 11.478 | 7.218  | 69       | 0.092   | 1.442 | 0.383 | 2.649 |
| 36       | 4.363   | 9.681  | 9.146  | 5.619  | 70       | 1.126   | 3.144 | 3.702 | 0.818 |
| 37       | 3.426   | 2.327  | 4.185  | 1.983  | 71       | 0.956   | 0.430 | 0.373 | 1.593 |
| 38       | 6.811   | 5.018  | 2.971  | 2.371  | 72       | 0.703   | 0.870 | 0.264 | 0.792 |
| 39       | 14.165  | 15.051 | 13.477 | 10.734 | 73       | 1.303   | 1.544 | 1.516 | 1.922 |
| 40       | 10.020  | 12.332 | 12.944 | 9.620  | 74       | 5.451   | 5.051 | 4.864 | 5.200 |
| 41       | 3.848   | 8.689  | 9.894  | 8.464  | 75       | 0.211   | 0.107 | 0.137 | 0.889 |
| 42       | 3.441   | 3.161  | 5.149  | 5.731  | 76       | 8.311   | 6.455 | 6.486 | 5.331 |
| 43       | 2.497   | 4.536  | 6.776  | 9.788  | 77       | 3.984   | 3.013 | 2.579 | 2.034 |
| 44       | 2.965   | 2.045  | 3.762  | 8.878  | 78       | 8.028   | 5.576 | 5.713 | 5.787 |
| 45       | 6.152   | 5.949  | 5.793  | 12.119 | 79       | 11.191  | 8.454 | 8.162 | 8.156 |
| 46       | 1.911   | 0.064  | 0.030  | 4.638  | 80       | 6.267   | 8.075 | 7.299 | 7.628 |
| 47       | 5.811   | 4.186  | 3.878  | 0.118  | 81       | 2.827   | 2.108 | 2.363 | 2.474 |
| 48       | 7.178   | 7.096  | 6.249  | 3.394  | 82       | 9.322   | 5.439 | 3.589 | 2.623 |
| 49       | 2.407   | 0.371  | 0.070  | 1.314  | 83       | 7.933   | 8.319 | 6.543 | 4.125 |
| 50       | 7.697   | 5.688  | 5.106  | 4.475  | 84       | 6.482   | 9.154 | 9.446 | 7.066 |
| 51       | 5.164   | 4.605  | 3.839  | 3.265  | 85       | 1.508   | 1.571 | 2.417 | 1.431 |
| 52       | 0.289   | 3.337  | 3.032  | 2.229  | 86       | 1.224   | 1.084 | 2.532 | 2.793 |
| 53       | 5.448   | 1.023  | 0.458  | 1.278  | 87       | 3.588   | 3.190 | 2.074 | 0.679 |
| 54       | 1.424   | 1.255  | 1.716  | 1.283  | 88       | 0.042   | 0.988 | 0.769 | 1.845 |
| 55       | 1.658   | 3.443  | 3.213  | 1.623  | 89       | 2.825   | 3.767 | 3.912 | 1.338 |
| 56       | 3.887   | 2.712  | 2.109  | 3.771  | 90       | 1.075   | 0.382 | 0.630 | 1.601 |
| 57       | 0.382   | 0.582  | 0.972  | 0.334  | Ave.     | 4.474   | 4.411 | 4.380 | 4.217 |

[부록 A-15] Case 3., 단거리(오조산공원-부개성일아파트)

| 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        | 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        |
|----------|---------|--------|--------|--------|----------|---------|--------|--------|--------|
|          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |
| 24       | 1.953   | 1.155  | 1.222  | 1.355  | 58       | 1.276   | 3.080  | 3.565  | 4.133  |
| 25       | 2.639   | 2.424  | 2.497  | 2.299  | 59       | 4.550   | 1.538  | 1.130  | 0.428  |
| 26       | 9.240   | 8.390  | 8.667  | 8.436  | 60       | 7.223   | 6.461  | 5.429  | 3.785  |
| 27       | 8.857   | 9.386  | 9.031  | 9.416  | 61       | 2.338   | 3.481  | 2.952  | 1.148  |
| 28       | 9.597   | 10.106 | 9.764  | 10.135 | 62       | 0.024   | 2.678  | 3.314  | 2.149  |
| 29       | 6.270   | 9.193  | 9.574  | 10.220 | 63       | 4.273   | 2.261  | 1.396  | 1.695  |
| 30       | 4.006   | 1.172  | 2.199  | 3.882  | 64       | 0.366   | 0.082  | 0.985  | 1.808  |
| 31       | 6.778   | 4.111  | 1.851  | 1.073  | 65       | 3.674   | 2.702  | 2.928  | 4.121  |
| 32       | 5.379   | 6.170  | 6.271  | 1.246  | 66       | 7.268   | 6.393  | 5.541  | 7.886  |
| 33       | 4.680   | 7.776  | 8.243  | 4.449  | 67       | 1.260   | 3.168  | 3.338  | 5.127  |
| 34       | 13.846  | 17.612 | 18.987 | 16.338 | 68       | 5.248   | 1.901  | 1.815  | 0.120  |
| 35       | 7.835   | 9.954  | 11.902 | 12.680 | 69       | 12.768  | 11.667 | 10.125 | 8.934  |
| 36       | 0.912   | 4.322  | 5.545  | 9.259  | 70       | 10.300  | 11.958 | 11.481 | 9.976  |
| 37       | 12.123  | 8.340  | 7.262  | 2.523  | 71       | 5.630   | 9.959  | 10.704 | 10.365 |
| 38       | 14.935  | 14.179 | 12.670 | 7.688  | 72       | 6.193   | 10.681 | 11.442 | 11.096 |
| 39       | 12.808  | 15.744 | 15.385 | 11.657 | 73       | 4.256   | 10.153 | 11.869 | 12.623 |
| 40       | 1.397   | 7.024  | 8.247  | 6.406  | 74       | 3.830   | 6.931  | 9.434  | 12.383 |
| 41       | 7.405   | 1.855  | 0.089  | 0.664  | 75       | 3.348   | 2.556  | 0.545  | 6.492  |
| 42       | 9.830   | 8.194  | 5.419  | 2.483  | 76       | 4.358   | 3.053  | 2.847  | 5.909  |
| 43       | 4.069   | 6.392  | 6.026  | 1.259  | 77       | 6.815   | 4.706  | 4.092  | 3.545  |
| 44       | 1.261   | 2.021  | 2.615  | 0.628  | 78       | 1.670   | 0.773  | 0.853  | 5.630  |
| 45       | 2.530   | 0.348  | 0.817  | 0.920  | 79       | 3.896   | 5.788  | 5.882  | 3.123  |
| 46       | 1.600   | 1.887  | 0.799  | 0.654  | 80       | 1.580   | 2.488  | 3.019  | 2.153  |
| 47       | 0.781   | 0.409  | 0.165  | 1.409  | 81       | 0.665   | 0.177  | 0.062  | 1.208  |
| 48       | 4.520   | 3.904  | 3.398  | 5.415  | 82       | 8.764   | 7.317  | 7.123  | 5.836  |
| 49       | 2.646   | 2.692  | 2.353  | 3.801  | 83       | 1.536   | 1.558  | 1.443  | 0.022  |
| 50       | 1.693   | 3.162  | 3.340  | 4.378  | 84       | 7.523   | 5.325  | 5.896  | 6.537  |
| 51       | 2.631   | 0.850  | 0.439  | 0.205  | 85       | 13.104  | 10.703 | 9.939  | 10.567 |
| 52       | 0.241   | 0.727  | 1.458  | 2.150  | 86       | 11.250  | 13.224 | 13.168 | 13.554 |
| 53       | 1.275   | 1.707  | 1.281  | 0.451  | 87       | 0.451   | 3.867  | 4.566  | 5.784  |
| 54       | 1.348   | 0.711  | 0.404  | 1.972  | 88       | 3.964   | 1.396  | 3.344  | 5.559  |
| 55       | 1.378   | 1.438  | 1.479  | 0.759  | 89       | 5.104   | 3.952  | 1.499  | 2.132  |
| 56       | 5.835   | 5.818  | 6.100  | 5.594  | 90       | 3.928   | 5.875  | 4.852  | 0.279  |
| 57       | 6.337   | 6.447  | 6.213  | 6.312  | Ave.     | 5.031   | 5.276  | 5.198  | 4.988  |

[부록 A-16] Case 3., 중거리(안동포교회-공촌정수장)

| 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        | 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        |
|----------|---------|--------|--------|--------|----------|---------|--------|--------|--------|
|          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |
| 24       | 1.434   | 0.567  | 0.588  | 0.629  | 58       | 14.389  | 14.010 | 13.167 | 9.774  |
| 25       | 4.872   | 5.433  | 5.813  | 6.001  | 59       | 9.615   | 11.609 | 11.881 | 8.416  |
| 26       | 6.257   | 5.644  | 6.693  | 7.319  | 60       | 1.667   | 2.996  | 4.733  | 5.509  |
| 27       | 1.283   | 0.103  | 0.330  | 1.739  | 61       | 6.228   | 1.995  | 0.443  | 0.230  |
| 28       | 11.480  | 7.130  | 6.418  | 4.194  | 62       | 11.327  | 8.228  | 6.729  | 4.286  |
| 29       | 10.965  | 10.265 | 9.596  | 7.127  | 63       | 6.555   | 6.697  | 5.536  | 2.062  |
| 30       | 15.086  | 14.307 | 13.501 | 10.556 | 64       | 1.208   | 3.409  | 3.160  | 0.230  |
| 31       | 11.387  | 16.310 | 15.407 | 13.425 | 65       | 12.032  | 7.772  | 6.399  | 9.219  |
| 32       | 3.772   | 9.625  | 11.385 | 10.437 | 66       | 14.378  | 10.429 | 8.594  | 9.065  |
| 33       | 0.328   | 6.131  | 7.881  | 6.930  | 67       | 9.389   | 10.454 | 8.439  | 6.105  |
| 34       | 5.343   | 1.274  | 1.508  | 3.884  | 68       | 4.436   | 11.447 | 11.803 | 8.262  |
| 35       | 9.125   | 6.105  | 3.297  | 2.187  | 69       | 1.019   | 11.445 | 14.617 | 12.015 |
| 36       | 5.346   | 6.752  | 6.324  | 0.467  | 70       | 10.864  | 13.315 | 17.373 | 18.442 |
| 37       | 6.500   | 9.318  | 9.719  | 4.515  | 71       | 11.339  | 7.924  | 12.312 | 19.702 |
| 38       | 10.531  | 12.926 | 14.044 | 11.554 | 72       | 7.787   | 10.639 | 9.214  | 24.301 |
| 39       | 5.728   | 6.689  | 7.832  | 8.305  | 73       | 1.968   | 5.373  | 5.402  | 19.443 |
| 40       | 8.807   | 5.168  | 4.405  | 0.457  | 74       | 3.903   | 0.530  | 3.618  | 15.269 |
| 41       | 9.239   | 5.776  | 5.038  | 1.249  | 75       | 5.831   | 5.564  | 3.682  | 4.881  |
| 42       | 7.961   | 5.327  | 4.443  | 0.576  | 76       | 3.635   | 4.476  | 3.906  | 1.645  |
| 43       | 8.913   | 10.801 | 10.132 | 7.589  | 77       | 1.685   | 2.460  | 2.900  | 0.328  |
| 44       | 10.937  | 12.305 | 13.609 | 12.979 | 78       | 4.130   | 4.948  | 5.180  | 3.997  |
| 45       | 10.051  | 11.193 | 12.407 | 11.820 | 79       | 5.451   | 6.111  | 6.420  | 5.981  |
| 46       | 0.991   | 0.030  | 1.161  | 2.547  | 80       | 3.127   | 3.228  | 3.364  | 3.628  |
| 47       | 9.573   | 4.854  | 4.229  | 0.807  | 81       | 1.329   | 1.700  | 1.934  | 2.767  |
| 48       | 5.073   | 6.415  | 4.924  | 1.611  | 82       | 4.284   | 2.863  | 2.585  | 1.292  |
| 49       | 2.256   | 5.389  | 5.871  | 2.815  | 83       | 2.813   | 1.651  | 1.238  | 0.043  |
| 50       | 1.219   | 3.634  | 4.554  | 3.714  | 84       | 3.565   | 3.791  | 3.246  | 1.997  |
| 51       | 3.462   | 2.491  | 1.222  | 0.308  | 85       | 1.525   | 2.740  | 2.728  | 1.772  |
| 52       | 6.480   | 5.983  | 5.376  | 3.318  | 86       | 3.937   | 3.514  | 2.997  | 2.726  |
| 53       | 4.371   | 4.933  | 4.930  | 2.778  | 87       | 7.715   | 7.378  | 6.848  | 6.022  |
| 54       | 7.107   | 7.731  | 7.727  | 5.587  | 88       | 9.145   | 8.764  | 8.137  | 7.415  |
| 55       | 0.586   | 3.238  | 3.546  | 1.856  | 89       | 7.624   | 8.547  | 8.869  | 8.125  |
| 56       | 4.054   | 1.058  | 0.253  | 0.895  | 90       | 0.514   | 3.538  | 3.906  | 4.039  |
| 57       | 10.229  | 8.683  | 6.544  | 5.255  | Ave.     | 6.196   | 6.465  | 6.449  | 5.887  |

[부록 A-17] Case 3., 중거리(공촌정수장-부개성일아파트)

| 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        | 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        |
|----------|---------|--------|--------|--------|----------|---------|--------|--------|--------|
|          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |
| 24       | 3.902   | 3.374  | 3.126  | 3.187  | 58       | 4.454   | 4.745  | 4.447  | 4.120  |
| 25       | 0.034   | 0.516  | 0.373  | 0.085  | 59       | 2.491   | 0.651  | 0.369  | 0.247  |
| 26       | 6.250   | 3.868  | 3.513  | 3.568  | 60       | 8.969   | 5.437  | 4.803  | 4.052  |
| 27       | 6.533   | 5.049  | 4.650  | 4.147  | 61       | 5.072   | 3.918  | 2.814  | 1.862  |
| 28       | 6.320   | 7.109  | 6.107  | 5.451  | 62       | 4.796   | 6.180  | 5.477  | 4.044  |
| 29       | 4.571   | 6.293  | 6.716  | 5.943  | 63       | 4.053   | 1.350  | 0.646  | 1.642  |
| 30       | 1.794   | 0.878  | 1.662  | 1.637  | 64       | 0.764   | 2.706  | 3.421  | 3.317  |
| 31       | 1.157   | 1.610  | 2.429  | 2.402  | 65       | 2.900   | 3.024  | 4.129  | 5.144  |
| 32       | 3.821   | 2.470  | 1.088  | 1.490  | 66       | 5.354   | 4.301  | 4.608  | 6.574  |
| 33       | 3.886   | 4.077  | 3.928  | 0.657  | 67       | 5.674   | 4.453  | 3.768  | 6.598  |
| 34       | 9.354   | 12.075 | 11.982 | 7.677  | 68       | 4.722   | 2.289  | 1.997  | 0.258  |
| 35       | 9.093   | 10.176 | 10.655 | 7.913  | 69       | 10.851  | 7.308  | 7.583  | 5.359  |
| 36       | 8.728   | 9.165  | 10.183 | 9.536  | 70       | 12.783  | 12.248 | 10.124 | 8.790  |
| 37       | 3.478   | 1.071  | 0.751  | 0.873  | 71       | 7.381   | 9.097  | 9.004  | 7.387  |
| 38       | 9.779   | 6.478  | 5.631  | 3.130  | 72       | 4.187   | 7.959  | 8.811  | 8.502  |
| 39       | 18.226  | 16.379 | 15.176 | 12.157 | 73       | 2.162   | 6.972  | 8.393  | 9.402  |
| 40       | 9.582   | 10.585 | 9.911  | 7.118  | 74       | 4.287   | 6.807  | 9.120  | 11.974 |
| 41       | 0.666   | 3.636  | 4.125  | 2.466  | 75       | 2.520   | 2.520  | 0.614  | 4.809  |
| 42       | 4.960   | 1.008  | 0.122  | 0.125  | 76       | 5.544   | 4.870  | 4.371  | 2.699  |
| 43       | 6.653   | 2.839  | 0.790  | 0.668  | 77       | 6.437   | 5.858  | 5.289  | 1.063  |
| 44       | 1.240   | 1.852  | 0.834  | 2.271  | 78       | 0.363   | 0.029  | 0.213  | 3.640  |
| 45       | 2.510   | 0.295  | 0.316  | 3.428  | 79       | 0.959   | 2.769  | 2.906  | 1.162  |
| 46       | 3.413   | 1.662  | 0.903  | 3.453  | 80       | 2.777   | 1.614  | 1.253  | 1.288  |
| 47       | 1.415   | 1.109  | 1.763  | 0.677  | 81       | 2.593   | 2.722  | 2.128  | 1.592  |
| 48       | 5.831   | 4.343  | 4.537  | 4.463  | 82       | 3.887   | 4.586  | 4.457  | 3.359  |
| 49       | 3.182   | 2.355  | 1.771  | 2.446  | 83       | 1.655   | 1.566  | 1.402  | 2.260  |
| 50       | 0.340   | 0.937  | 0.642  | 1.170  | 84       | 10.345  | 8.965  | 8.424  | 8.772  |
| 51       | 2.205   | 0.183  | 0.093  | 0.883  | 85       | 11.017  | 9.001  | 9.099  | 8.401  |
| 52       | 0.355   | 1.201  | 1.788  | 2.400  | 86       | 9.529   | 10.180 | 9.648  | 9.472  |
| 53       | 2.306   | 1.224  | 1.937  | 2.654  | 87       | 0.242   | 2.764  | 3.228  | 3.350  |
| 54       | 3.086   | 1.170  | 1.291  | 2.615  | 88       | 1.774   | 2.466  | 3.413  | 4.465  |
| 55       | 0.007   | 0.365  | 0.310  | 0.873  | 89       | 3.457   | 1.179  | 0.789  | 3.220  |
| 56       | 7.465   | 6.528  | 6.519  | 6.077  | 90       | 2.671   | 3.660  | 1.989  | 2.047  |
| 57       | 6.285   | 5.732  | 5.363  | 4.936  | Ave.     | 4.703   | 4.355  | 4.175  | 4.022  |

[부록 A-18] Case 3., 장거리(안동포교회-부개성일아파트)

| 시간<br>단위 | MAPE(%) |       |       |       | 시간<br>단위 | MAPE(%) |       |       |       |
|----------|---------|-------|-------|-------|----------|---------|-------|-------|-------|
|          | n=2     | n=4   | n=5   | n=10  |          | n=2     | n=4   | n=5   | n=10  |
| 24       | 3.171   | 2.367 | 2.206 | 0.560 | 58       | 2.590   | 2.249 | 1.892 | 2.166 |
| 25       | 3.714   | 3.469 | 3.276 | 1.328 | 59       | 5.010   | 5.010 | 4.539 | 4.045 |
| 26       | 0.445   | 1.070 | 1.012 | 0.895 | 60       | 6.237   | 5.908 | 5.974 | 4.755 |
| 27       | 4.048   | 1.866 | 1.420 | 1.290 | 61       | 2.812   | 2.394 | 2.267 | 0.901 |
| 28       | 6.823   | 4.672 | 4.219 | 4.089 | 62       | 1.944   | 1.545 | 1.329 | 0.162 |
| 29       | 7.671   | 7.192 | 6.472 | 5.892 | 63       | 2.009   | 0.920 | 0.676 | 1.085 |
| 30       | 7.739   | 8.025 | 7.358 | 6.013 | 64       | 0.225   | 1.719 | 1.970 | 2.435 |
| 31       | 9.341   | 9.595 | 9.835 | 8.329 | 65       | 3.425   | 5.284 | 6.189 | 7.433 |
| 32       | 5.979   | 7.034 | 7.297 | 6.613 | 66       | 5.184   | 5.018 | 5.883 | 7.750 |
| 33       | 3.122   | 4.202 | 4.465 | 3.771 | 67       | 7.320   | 4.450 | 4.493 | 7.096 |
| 34       | 4.176   | 1.782 | 1.295 | 1.225 | 68       | 8.694   | 5.388 | 4.409 | 6.443 |
| 35       | 8.176   | 4.399 | 3.019 | 1.588 | 69       | 6.218   | 6.605 | 4.906 | 5.941 |
| 36       | 9.008   | 6.649 | 5.321 | 2.557 | 70       | 1.029   | 5.288 | 5.798 | 6.100 |
| 37       | 7.788   | 6.769 | 5.285 | 1.105 | 71       | 6.862   | 3.324 | 5.176 | 6.072 |
| 38       | 9.272   | 8.140 | 7.418 | 2.457 | 72       | 3.369   | 0.996 | 3.497 | 5.858 |
| 39       | 5.047   | 2.694 | 2.300 | 3.696 | 73       | 0.774   | 3.977 | 1.880 | 3.241 |
| 40       | 7.252   | 4.605 | 3.810 | 3.577 | 74       | 2.478   | 5.339 | 3.468 | 1.095 |
| 41       | 5.067   | 3.929 | 3.012 | 1.558 | 75       | 0.746   | 1.108 | 1.919 | 2.114 |
| 42       | 2.521   | 2.590 | 1.773 | 0.452 | 76       | 1.444   | 0.917 | 0.171 | 2.745 |
| 43       | 5.516   | 5.977 | 6.037 | 3.716 | 77       | 1.442   | 1.801 | 1.561 | 2.609 |
| 44       | 6.604   | 7.960 | 8.231 | 6.814 | 78       | 4.317   | 3.803 | 3.734 | 3.417 |
| 45       | 3.175   | 6.399 | 7.113 | 6.691 | 79       | 3.247   | 3.145 | 2.955 | 3.294 |
| 46       | 0.254   | 1.232 | 1.972 | 2.691 | 80       | 3.131   | 3.490 | 3.451 | 3.871 |
| 47       | 1.237   | 2.257 | 1.341 | 0.021 | 81       | 3.434   | 3.742 | 3.822 | 3.977 |
| 48       | 3.348   | 3.880 | 4.076 | 1.983 | 82       | 3.279   | 3.009 | 3.131 | 3.118 |
| 49       | 4.463   | 2.645 | 2.801 | 1.084 | 83       | 1.446   | 0.922 | 0.889 | 0.808 |
| 50       | 5.183   | 2.491 | 2.286 | 1.053 | 84       | 4.525   | 3.899 | 3.926 | 3.659 |
| 51       | 1.558   | 1.975 | 0.945 | 0.123 | 85       | 5.714   | 4.880 | 4.437 | 3.686 |
| 52       | 0.462   | 1.065 | 1.229 | 0.403 | 86       | 4.789   | 4.374 | 3.639 | 2.536 |
| 53       | 2.343   | 0.471 | 0.134 | 0.634 | 87       | 0.758   | 0.493 | 0.474 | 0.972 |
| 54       | 4.298   | 2.950 | 2.149 | 1.088 | 88       | 0.618   | 0.043 | 0.027 | 0.970 |
| 55       | 2.080   | 2.475 | 1.869 | 0.469 | 89       | 4.497   | 2.080 | 1.664 | 2.155 |
| 56       | 3.203   | 4.403 | 4.336 | 2.960 | 90       | 6.242   | 2.461 | 1.528 | 1.081 |
| 57       | 0.013   | 1.133 | 1.743 | 0.557 | Ave.     | 4.028   | 3.641 | 3.414 | 2.998 |

[부록 A-19] Case 4., 단거리(안동포교회-서해아파트)

| 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        | 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        |
|----------|---------|--------|--------|--------|----------|---------|--------|--------|--------|
|          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |
| 24       | 7.373   | 13.878 | 16.402 | 20.181 | 58       | 1.748   | 1.591  | 2.002  | 3.465  |
| 25       | 6.059   | 2.536  | 4.595  | 11.021 | 59       | 0.696   | 0.154  | 0.169  | 1.418  |
| 26       | 27.504  | 20.472 | 15.141 | 5.690  | 60       | 6.160   | 5.652  | 5.517  | 4.238  |
| 27       | 15.919  | 16.857 | 16.078 | 4.224  | 61       | 6.950   | 6.920  | 6.729  | 5.897  |
| 28       | 5.727   | 11.970 | 13.246 | 7.037  | 62       | 6.789   | 8.746  | 8.863  | 8.381  |
| 29       | 8.377   | 0.305  | 1.666  | 0.328  | 63       | 4.254   | 8.433  | 8.996  | 9.299  |
| 30       | 7.637   | 5.503  | 3.376  | 0.757  | 64       | 3.984   | 7.478  | 8.867  | 10.657 |
| 31       | 8.072   | 9.693  | 7.913  | 4.023  | 65       | 2.431   | 4.953  | 7.281  | 10.395 |
| 32       | 4.518   | 7.944  | 9.179  | 3.777  | 66       | 21.355  | 17.719 | 15.983 | 5.646  |
| 33       | 6.823   | 10.507 | 11.647 | 8.848  | 67       | 25.382  | 22.561 | 20.461 | 8.235  |
| 34       | 1.883   | 5.045  | 7.254  | 6.923  | 68       | 10.530  | 15.688 | 16.859 | 11.266 |
| 35       | 3.927   | 5.834  | 7.307  | 10.033 | 69       | 5.137   | 1.210  | 2.847  | 2.210  |
| 36       | 2.706   | 0.717  | 0.634  | 6.082  | 70       | 9.622   | 5.883  | 3.679  | 0.507  |
| 37       | 4.324   | 2.801  | 2.266  | 6.407  | 71       | 9.417   | 9.728  | 7.347  | 2.007  |
| 38       | 12.859  | 13.184 | 12.162 | 4.482  | 72       | 5.654   | 5.997  | 3.403  | 2.451  |
| 39       | 14.403  | 15.859 | 16.390 | 11.379 | 73       | 4.752   | 0.717  | 0.998  | 5.715  |
| 40       | 13.138  | 15.813 | 16.275 | 15.751 | 74       | 5.107   | 0.727  | 0.281  | 3.585  |
| 41       | 0.893   | 2.933  | 4.306  | 5.787  | 75       | 0.703   | 1.076  | 3.064  | 1.693  |
| 42       | 6.739   | 2.947  | 1.634  | 1.544  | 76       | 5.831   | 4.496  | 4.590  | 5.146  |
| 43       | 18.968  | 17.995 | 16.750 | 13.855 | 77       | 4.583   | 4.863  | 4.597  | 5.319  |
| 44       | 20.850  | 23.245 | 22.740 | 19.554 | 78       | 3.716   | 5.603  | 5.668  | 6.526  |
| 45       | 17.837  | 23.856 | 24.698 | 21.588 | 79       | 3.768   | 1.157  | 0.221  | 0.879  |
| 46       | 2.863   | 17.675 | 21.213 | 20.531 | 80       | 3.602   | 1.021  | 0.123  | 0.923  |
| 47       | 11.424  | 6.763  | 10.329 | 14.587 | 81       | 12.628  | 13.108 | 12.794 | 11.485 |
| 48       | 8.362   | 9.129  | 4.546  | 12.885 | 82       | 17.564  | 19.170 | 19.269 | 17.466 |
| 49       | 9.219   | 11.785 | 12.260 | 5.412  | 83       | 6.565   | 10.581 | 11.557 | 13.097 |
| 50       | 2.087   | 4.261  | 4.979  | 7.468  | 84       | 4.469   | 2.176  | 3.834  | 7.104  |
| 51       | 1.314   | 3.398  | 3.969  | 3.630  | 85       | 6.646   | 2.470  | 0.773  | 3.524  |
| 52       | 0.706   | 2.187  | 3.330  | 0.643  | 86       | 0.650   | 2.402  | 0.047  | 5.476  |
| 53       | 4.821   | 4.737  | 5.381  | 4.879  | 87       | 0.136   | 2.321  | 2.281  | 2.366  |
| 54       | 3.285   | 3.707  | 4.625  | 8.090  | 88       | 2.842   | 3.721  | 4.958  | 1.016  |
| 55       | 0.524   | 2.465  | 2.243  | 6.155  | 89       | 5.510   | 6.104  | 5.282  | 7.807  |
| 56       | 0.180   | 2.013  | 2.893  | 5.915  | 90       | 24.910  | 23.503 | 22.974 | 22.951 |
| 57       | 1.965   | 2.347  | 2.783  | 5.229  | Ave.     | 7.424   | 7.885  | 7.948  | 7.356  |



[부록 A-20] Case 4., 단거리(서해아파트-오조산공원)

| 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        | 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        |
|----------|---------|--------|--------|--------|----------|---------|--------|--------|--------|
|          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |
| 24       | 10.777  | 12.618 | 12.224 | 11.435 | 58       | 1.364   | 4.196  | 5.690  | 9.872  |
| 25       | 1.935   | 3.999  | 5.016  | 5.321  | 59       | 2.424   | 2.218  | 4.161  | 9.090  |
| 26       | 14.479  | 5.499  | 3.299  | 0.711  | 60       | 2.460   | 2.151  | 2.256  | 8.719  |
| 27       | 9.746   | 9.136  | 6.428  | 3.097  | 61       | 4.019   | 2.994  | 2.950  | 1.966  |
| 28       | 2.304   | 1.595  | 0.970  | 3.406  | 62       | 0.028   | 1.093  | 1.092  | 5.397  |
| 29       | 12.077  | 7.808  | 6.592  | 9.955  | 63       | 1.946   | 1.067  | 1.486  | 3.788  |
| 30       | 9.430   | 9.005  | 7.083  | 9.294  | 64       | 0.643   | 0.410  | 0.626  | 1.126  |
| 31       | 1.802   | 2.829  | 2.528  | 2.992  | 65       | 4.969   | 3.350  | 3.555  | 3.150  |
| 32       | 7.744   | 2.021  | 0.718  | 0.843  | 66       | 4.229   | 3.143  | 3.585  | 3.544  |
| 33       | 6.110   | 6.051  | 3.712  | 3.784  | 67       | 5.339   | 3.554  | 4.319  | 3.652  |
| 34       | 5.472   | 2.738  | 3.417  | 4.507  | 68       | 2.816   | 0.673  | 0.012  | 0.298  |
| 35       | 7.013   | 4.533  | 3.456  | 4.890  | 69       | 0.409   | 0.939  | 0.212  | 0.495  |
| 36       | 5.593   | 6.187  | 5.236  | 6.788  | 70       | 8.761   | 6.637  | 6.805  | 7.633  |
| 37       | 10.388  | 5.889  | 5.835  | 4.846  | 71       | 2.674   | 2.609  | 2.246  | 2.787  |
| 38       | 10.803  | 7.783  | 6.737  | 6.005  | 72       | 1.305   | 3.584  | 3.400  | 4.124  |
| 39       | 0.641   | 2.758  | 1.480  | 1.797  | 73       | 3.167   | 0.503  | 0.659  | 1.675  |
| 40       | 3.150   | 0.814  | 1.755  | 1.872  | 74       | 5.258   | 5.199  | 4.512  | 2.761  |
| 41       | 3.524   | 4.931  | 6.047  | 6.624  | 75       | 10.367  | 11.066 | 10.189 | 8.477  |
| 42       | 13.815  | 11.598 | 13.379 | 14.575 | 76       | 4.680   | 6.074  | 7.007  | 5.723  |
| 43       | 12.149  | 12.719 | 12.256 | 15.482 | 77       | 4.740   | 1.085  | 0.640  | 0.412  |
| 44       | 0.425   | 4.616  | 4.645  | 7.983  | 78       | 11.050  | 7.997  | 6.493  | 5.610  |
| 45       | 10.912  | 3.772  | 1.915  | 2.478  | 79       | 8.250   | 9.246  | 8.345  | 6.798  |
| 46       | 42.842  | 41.967 | 39.995 | 36.207 | 80       | 6.450   | 9.042  | 9.389  | 8.248  |
| 47       | 38.839  | 41.585 | 40.902 | 37.094 | 81       | 7.197   | 9.939  | 10.995 | 10.793 |
| 48       | 39.229  | 41.892 | 41.264 | 37.579 | 82       | 2.394   | 4.968  | 6.378  | 8.122  |
| 49       | 0.826   | 4.638  | 5.982  | 5.073  | 83       | 1.092   | 2.418  | 4.001  | 7.808  |
| 50       | 30.496  | 1.173  | 3.655  | 5.214  | 84       | 4.438   | 1.965  | 0.776  | 4.379  |
| 51       | 2.780   | 5.651  | 2.149  | 3.826  | 85       | 2.599   | 2.033  | 3.066  | 8.207  |
| 52       | 0.364   | 3.719  | 4.920  | 2.037  | 86       | 2.108   | 0.918  | 1.026  | 5.775  |
| 53       | 2.017   | 3.307  | 4.306  | 0.507  | 87       | 1.762   | 1.993  | 2.568  | 1.396  |
| 54       | 10.538  | 10.431 | 11.943 | 9.625  | 88       | 5.536   | 4.383  | 4.429  | 2.577  |
| 55       | 10.949  | 11.708 | 11.644 | 12.170 | 89       | 8.040   | 8.328  | 8.486  | 7.697  |
| 56       | 5.308   | 7.826  | 8.382  | 10.454 | 90       | 8.553   | 10.928 | 10.661 | 11.213 |
| 57       | 1.293   | 2.897  | 3.793  | 6.786  | Ave.     | 7.266   | 6.603  | 6.503  | 6.994  |

[부록 A-21] Case 4., 단거리(오조산공원-부개성일아파트)

| 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        | 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        |
|----------|---------|--------|--------|--------|----------|---------|--------|--------|--------|
|          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |
| 24       | 4.016   | 3.152  | 4.819  | 8.062  | 58       | 0.081   | 1.984  | 1.380  | 0.997  |
| 25       | 8.626   | 6.058  | 3.234  | 1.717  | 59       | 18.070  | 2.285  | 1.472  | 8.768  |
| 26       | 3.447   | 5.101  | 3.470  | 3.127  | 60       | 12.402  | 11.554 | 4.956  | 9.559  |
| 27       | 9.366   | 11.370 | 11.835 | 7.081  | 61       | 8.636   | 15.021 | 12.236 | 11.187 |
| 28       | 8.050   | 9.792  | 10.879 | 7.885  | 62       | 3.138   | 4.146  | 4.730  | 4.200  |
| 29       | 9.247   | 11.506 | 12.411 | 12.147 | 63       | 0.805   | 1.445  | 1.859  | 1.749  |
| 30       | 1.161   | 3.993  | 5.652  | 7.608  | 64       | 7.584   | 6.206  | 5.523  | 4.952  |
| 31       | 13.682  | 9.149  | 8.113  | 3.492  | 65       | 8.747   | 7.358  | 6.932  | 5.619  |
| 32       | 17.923  | 17.639 | 14.309 | 8.667  | 66       | 3.207   | 5.714  | 5.585  | 4.010  |
| 33       | 4.991   | 8.163  | 8.653  | 4.319  | 67       | 13.342  | 9.079  | 8.785  | 9.641  |
| 34       | 9.696   | 2.165  | 0.838  | 2.576  | 68       | 18.026  | 16.343 | 14.717 | 14.541 |
| 35       | 12.285  | 7.406  | 4.849  | 3.979  | 69       | 9.870   | 12.721 | 12.215 | 11.648 |
| 36       | 4.620   | 7.358  | 5.159  | 2.324  | 70       | 4.832   | 1.383  | 2.333  | 2.171  |
| 37       | 0.639   | 4.113  | 4.685  | 1.168  | 71       | 13.320  | 6.777  | 5.009  | 3.626  |
| 38       | 7.618   | 4.931  | 3.060  | 6.066  | 72       | 11.539  | 13.109 | 9.694  | 6.317  |
| 39       | 11.663  | 11.824 | 9.871  | 10.160 | 73       | 0.149   | 5.055  | 5.676  | 1.493  |
| 40       | 15.299  | 17.703 | 18.012 | 16.589 | 74       | 6.620   | 1.733  | 0.230  | 2.370  |
| 41       | 9.609   | 15.139 | 16.360 | 15.293 | 75       | 2.512   | 1.700  | 0.235  | 0.583  |
| 42       | 12.491  | 20.410 | 22.943 | 23.242 | 76       | 6.233   | 3.836  | 4.644  | 6.118  |
| 43       | 1.686   | 7.773  | 11.258 | 14.494 | 77       | 2.186   | 0.260  | 0.277  | 2.074  |
| 44       | 5.415   | 2.243  | 0.415  | 7.364  | 78       | 0.451   | 1.735  | 1.088  | 3.514  |
| 45       | 21.491  | 19.655 | 18.301 | 11.393 | 79       | 5.920   | 4.091  | 4.072  | 3.006  |
| 46       | 16.869  | 18.082 | 18.144 | 10.748 | 80       | 4.555   | 4.739  | 3.993  | 3.340  |
| 47       | 7.607   | 11.859 | 12.775 | 11.112 | 81       | 4.119   | 5.434  | 5.177  | 5.175  |
| 48       | 12.556  | 4.455  | 2.906  | 1.857  | 82       | 0.491   | 1.620  | 2.552  | 2.890  |
| 49       | 13.112  | 8.569  | 5.920  | 1.650  | 83       | 0.945   | 2.880  | 3.438  | 4.816  |
| 50       | 8.177   | 12.165 | 9.047  | 2.752  | 84       | 4.966   | 5.211  | 6.327  | 7.714  |
| 51       | 3.987   | 10.675 | 12.183 | 6.122  | 85       | 3.759   | 3.649  | 3.666  | 6.241  |
| 52       | 0.182   | 3.451  | 5.064  | 2.572  | 86       | 8.682   | 7.064  | 6.531  | 3.265  |
| 53       | 4.608   | 3.953  | 1.537  | 1.231  | 87       | 5.769   | 2.967  | 2.883  | 0.639  |
| 54       | 7.224   | 6.691  | 6.652  | 4.063  | 88       | 2.012   | 4.885  | 4.366  | 2.427  |
| 55       | 1.619   | 3.007  | 2.972  | 0.287  | 89       | 4.250   | 0.038  | 0.398  | 0.999  |
| 56       | 6.307   | 3.767  | 3.395  | 5.269  | 90       | 3.780   | 3.495  | 2.066  | 1.587  |
| 57       | 5.022   | 3.291  | 2.260  | 3.041  | Ave.     | 7.183   | 7.047  | 6.523  | 5.772  |

[부록 A-22] Case 4., 중거리(안동포교회-공촌정수장)

| 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        | 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        |
|----------|---------|--------|--------|--------|----------|---------|--------|--------|--------|
|          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |
| 24       | 8.028   | 11.318 | 12.703 | 15.256 | 58       | 1.954   | 2.251  | 2.074  | 3.537  |
| 25       | 2.727   | 1.427  | 3.478  | 7.889  | 59       | 1.492   | 1.481  | 1.606  | 2.390  |
| 26       | 26.085  | 17.159 | 14.282 | 7.120  | 60       | 1.754   | 1.752  | 1.659  | 1.198  |
| 27       | 14.986  | 15.203 | 14.085 | 6.450  | 61       | 5.037   | 4.510  | 4.494  | 4.136  |
| 28       | 4.747   | 10.105 | 10.680 | 6.179  | 62       | 7.012   | 6.008  | 5.732  | 5.246  |
| 29       | 11.947  | 4.398  | 2.673  | 3.776  | 63       | 7.928   | 8.577  | 8.499  | 8.172  |
| 30       | 10.822  | 8.234  | 6.080  | 4.224  | 64       | 3.304   | 6.877  | 6.914  | 6.928  |
| 31       | 6.103   | 8.763  | 7.146  | 4.025  | 65       | 3.589   | 6.606  | 7.795  | 8.232  |
| 32       | 2.251   | 3.129  | 4.444  | 0.228  | 66       | 10.577  | 8.412  | 5.296  | 2.335  |
| 33       | 1.184   | 4.595  | 6.344  | 4.465  | 67       | 14.452  | 12.303 | 10.721 | 4.523  |
| 34       | 6.482   | 6.242  | 8.353  | 8.653  | 68       | 17.288  | 15.750 | 14.905 | 6.597  |
| 35       | 9.928   | 9.718  | 11.825 | 12.100 | 69       | 2.511   | 6.089  | 6.338  | 1.599  |
| 36       | 7.374   | 6.695  | 6.895  | 9.999  | 70       | 8.674   | 2.768  | 1.259  | 3.268  |
| 37       | 4.756   | 1.806  | 1.554  | 3.551  | 71       | 10.808  | 7.233  | 5.363  | 3.877  |
| 38       | 17.358  | 10.027 | 9.750  | 2.241  | 72       | 6.694   | 7.452  | 5.013  | 0.761  |
| 39       | 16.184  | 12.892 | 9.878  | 4.773  | 73       | 3.121   | 1.311  | 1.743  | 3.779  |
| 40       | 6.676   | 10.461 | 11.171 | 10.341 | 74       | 6.720   | 2.632  | 1.523  | 4.410  |
| 41       | 3.111   | 6.373  | 7.653  | 8.535  | 75       | 4.244   | 3.430  | 1.962  | 2.702  |
| 42       | 3.730   | 5.984  | 7.572  | 10.084 | 76       | 1.834   | 2.825  | 2.480  | 1.852  |
| 43       | 9.303   | 7.758  | 6.732  | 3.609  | 77       | 2.883   | 4.282  | 4.620  | 3.750  |
| 44       | 15.179  | 14.197 | 13.577 | 9.702  | 78       | 2.492   | 1.925  | 1.448  | 2.083  |
| 45       | 19.737  | 18.543 | 17.778 | 12.844 | 79       | 1.739   | 1.700  | 1.343  | 1.317  |
| 46       | 35.742  | 37.835 | 37.523 | 33.375 | 80       | 5.351   | 4.896  | 4.727  | 3.942  |
| 47       | 24.045  | 33.034 | 34.196 | 32.042 | 81       | 2.884   | 3.015  | 3.007  | 3.886  |
| 48       | 18.686  | 28.357 | 30.148 | 30.719 | 82       | 6.804   | 5.236  | 5.216  | 5.699  |
| 49       | 7.422   | 0.182  | 1.524  | 1.940  | 83       | 9.832   | 7.619  | 7.288  | 7.378  |
| 50       | 7.729   | 4.335  | 0.009  | 2.594  | 84       | 4.361   | 5.731  | 4.986  | 5.294  |
| 51       | 23.633  | 10.763 | 7.582  | 0.979  | 85       | 1.375   | 1.976  | 2.631  | 2.876  |
| 52       | 2.335   | 4.854  | 5.255  | 1.029  | 86       | 2.961   | 0.830  | 0.093  | 1.002  |
| 53       | 0.061   | 3.178  | 3.972  | 0.184  | 87       | 2.073   | 1.971  | 0.758  | 0.720  |
| 54       | 0.765   | 2.708  | 4.158  | 3.028  | 88       | 3.857   | 4.426  | 4.248  | 1.993  |
| 55       | 0.517   | 0.161  | 1.599  | 5.040  | 89       | 7.421   | 5.982  | 5.520  | 8.096  |
| 56       | 1.426   | 0.894  | 0.773  | 5.387  | 90       | 22.996  | 21.619 | 21.008 | 23.101 |
| 57       | 0.075   | 0.085  | 0.121  | 2.792  | Ave.     | 7.868   | 7.476  | 7.221  | 6.296  |

[부록 A-23] Case 4., 중거리(공촌정수장-부개성일아파트)

| 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        | 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |       |
|----------|---------|--------|--------|--------|----------|---------|--------|--------|-------|
|          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10  |
| 24       | 7.857   | 2.608  | 1.618  | 2.621  | 58       | 2.165   | 3.826  | 3.963  | 5.430 |
| 25       | 9.978   | 6.388  | 4.171  | 0.610  | 59       | 12.005  | 0.293  | 2.379  | 8.937 |
| 26       | 1.383   | 3.863  | 2.592  | 1.542  | 60       | 13.484  | 6.449  | 1.755  | 5.231 |
| 27       | 3.803   | 7.038  | 7.659  | 4.733  | 61       | 13.140  | 14.528 | 10.638 | 0.405 |
| 28       | 6.297   | 7.659  | 8.665  | 7.403  | 62       | 1.235   | 2.194  | 2.146  | 0.151 |
| 29       | 10.307  | 9.823  | 10.993 | 11.062 | 63       | 3.016   | 1.906  | 1.379  | 3.111 |
| 30       | 5.183   | 5.498  | 5.588  | 7.856  | 64       | 5.870   | 4.907  | 4.491  | 5.226 |
| 31       | 9.159   | 4.865  | 4.458  | 1.227  | 65       | 6.503   | 6.115  | 5.445  | 5.318 |
| 32       | 13.053  | 7.529  | 6.822  | 3.146  | 66       | 0.418   | 1.613  | 1.693  | 0.791 |
| 33       | 8.646   | 8.168  | 5.812  | 2.652  | 67       | 6.409   | 3.713  | 3.375  | 4.017 |
| 34       | 1.467   | 1.470  | 1.683  | 1.540  | 68       | 12.082  | 10.009 | 9.102  | 9.016 |
| 35       | 5.635   | 0.314  | 1.648  | 0.689  | 69       | 8.573   | 8.995  | 8.154  | 7.190 |
| 36       | 6.221   | 3.473  | 1.742  | 0.826  | 70       | 1.931   | 4.179  | 4.442  | 3.448 |
| 37       | 1.264   | 2.927  | 1.525  | 0.363  | 71       | 7.295   | 3.705  | 2.775  | 2.699 |
| 38       | 5.731   | 2.950  | 2.589  | 5.297  | 72       | 9.644   | 6.524  | 5.159  | 3.809 |
| 39       | 8.232   | 7.416  | 6.409  | 8.660  | 73       | 4.293   | 4.512  | 3.309  | 0.886 |
| 40       | 12.265  | 12.472 | 11.478 | 12.293 | 74       | 2.670   | 0.663  | 0.529  | 2.352 |
| 41       | 9.479   | 10.890 | 11.445 | 11.365 | 75       | 2.191   | 1.404  | 2.456  | 0.747 |
| 42       | 12.050  | 16.526 | 17.224 | 17.733 | 76       | 0.734   | 1.655  | 2.935  | 2.666 |
| 43       | 5.172   | 10.205 | 11.726 | 12.830 | 77       | 2.138   | 3.824  | 3.246  | 2.375 |
| 44       | 3.665   | 0.240  | 2.083  | 4.826  | 78       | 1.433   | 2.453  | 2.800  | 1.173 |
| 45       | 17.678  | 15.845 | 14.293 | 9.665  | 79       | 6.836   | 5.753  | 6.225  | 4.748 |
| 46       | 18.483  | 16.919 | 15.714 | 10.094 | 80       | 4.820   | 4.754  | 4.917  | 4.384 |
| 47       | 13.172  | 14.127 | 14.164 | 9.793  | 81       | 5.583   | 7.283  | 7.043  | 7.277 |
| 48       | 1.123   | 4.295  | 4.921  | 3.903  | 82       | 0.062   | 1.654  | 2.160  | 2.945 |
| 49       | 5.111   | 2.380  | 3.733  | 4.846  | 83       | 1.465   | 3.282  | 4.573  | 6.338 |
| 50       | 6.068   | 0.945  | 1.457  | 5.050  | 84       | 3.239   | 4.591  | 5.092  | 7.383 |
| 51       | 2.959   | 4.049  | 1.845  | 2.272  | 85       | 5.482   | 5.497  | 6.248  | 8.601 |
| 52       | 0.667   | 2.655  | 3.098  | 1.955  | 86       | 3.476   | 4.191  | 4.207  | 0.879 |
| 53       | 0.267   | 0.539  | 1.137  | 2.387  | 87       | 4.563   | 2.751  | 2.375  | 0.830 |
| 54       | 1.487   | 1.660  | 2.443  | 0.526  | 88       | 12.917  | 7.840  | 8.160  | 4.423 |
| 55       | 4.257   | 4.850  | 4.846  | 4.594  | 89       | 1.680   | 3.472  | 2.732  | 1.832 |
| 56       | 7.499   | 7.366  | 7.460  | 7.890  | 90       | 2.377   | 0.724  | 1.096  | 0.213 |
| 57       | 5.061   | 4.953  | 5.180  | 6.647  | Ave.     | 5.976   | 5.346  | 5.153  | 4.683 |

[부록 A-24] Case 4., 장거리(안동포교회-부개성일아파트)

| 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        | 시간<br>단위 | MAPE(%) |        |        |        |
|----------|---------|--------|--------|--------|----------|---------|--------|--------|--------|
|          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |          | n=2     | n=4    | n=5    | n=10   |
| 24       | 8.548   | 8.459  | 8.441  | 3.583  | 58       | 3.348   | 3.022  | 3.084  | 4.004  |
| 25       | 8.769   | 7.163  | 7.010  | 0.443  | 59       | 12.188  | 11.188 | 11.425 | 15.448 |
| 26       | 0.531   | 0.140  | 0.011  | 0.248  | 60       | 8.409   | 9.684  | 9.153  | 12.514 |
| 27       | 4.339   | 3.985  | 3.853  | 3.639  | 61       | 1.796   | 4.314  | 4.774  | 7.215  |
| 28       | 0.894   | 4.032  | 4.119  | 4.756  | 62       | 3.461   | 2.633  | 2.240  | 1.518  |
| 29       | 3.127   | 7.287  | 8.439  | 9.853  | 63       | 4.710   | 3.839  | 3.395  | 2.295  |
| 30       | 0.322   | 2.905  | 5.024  | 7.480  | 64       | 4.267   | 3.193  | 2.663  | 1.192  |
| 31       | 1.777   | 1.120  | 0.029  | 2.638  | 65       | 4.366   | 4.096  | 3.844  | 2.171  |
| 32       | 0.996   | 1.809  | 2.673  | 0.229  | 66       | 1.297   | 2.459  | 2.004  | 0.182  |
| 33       | 0.987   | 1.795  | 0.843  | 2.557  | 67       | 0.500   | 2.339  | 3.081  | 1.626  |
| 34       | 2.071   | 5.678  | 5.154  | 6.243  | 68       | 2.005   | 2.522  | 3.755  | 4.060  |
| 35       | 0.179   | 3.703  | 5.786  | 6.131  | 69       | 1.794   | 2.816  | 4.223  | 6.057  |
| 36       | 3.122   | 2.622  | 3.521  | 4.437  | 70       | 4.440   | 3.215  | 4.382  | 7.411  |
| 37       | 3.134   | 0.411  | 0.519  | 0.769  | 71       | 5.068   | 3.861  | 3.279  | 6.342  |
| 38       | 2.389   | 3.931  | 4.928  | 4.093  | 72       | 4.959   | 3.746  | 3.075  | 5.220  |
| 39       | 7.078   | 5.176  | 5.787  | 5.164  | 73       | 3.874   | 2.663  | 1.981  | 4.136  |
| 40       | 12.528  | 9.652  | 9.396  | 8.950  | 74       | 1.802   | 2.306  | 2.208  | 2.994  |
| 41       | 12.301  | 11.210 | 9.866  | 9.648  | 75       | 1.175   | 0.215  | 0.097  | 0.406  |
| 42       | 16.989  | 17.866 | 17.148 | 15.999 | 76       | 3.090   | 1.981  | 1.450  | 1.412  |
| 43       | 4.831   | 6.853  | 7.286  | 6.923  | 77       | 1.627   | 1.147  | 0.688  | 0.316  |
| 44       | 4.317   | 1.757  | 1.025  | 0.581  | 78       | 0.420   | 0.310  | 0.507  | 1.274  |
| 45       | 16.652  | 13.172 | 11.843 | 10.212 | 79       | 1.841   | 1.349  | 1.362  | 2.383  |
| 46       | 32.833  | 30.554 | 28.858 | 23.669 | 80       | 2.695   | 2.376  | 2.185  | 3.022  |
| 47       | 30.776  | 28.676 | 27.134 | 22.324 | 81       | 2.313   | 1.639  | 1.419  | 1.106  |
| 48       | 24.405  | 25.036 | 24.218 | 19.872 | 82       | 0.533   | 0.911  | 1.053  | 1.583  |
| 49       | 3.464   | 5.728  | 6.264  | 3.907  | 83       | 0.890   | 0.272  | 0.094  | 0.660  |
| 50       | 1.046   | 3.943  | 4.853  | 4.383  | 84       | 0.659   | 1.609  | 1.435  | 0.847  |
| 51       | 2.288   | 2.494  | 3.369  | 2.916  | 85       | 0.819   | 2.772  | 2.937  | 2.450  |
| 52       | 6.629   | 0.718  | 2.347  | 3.662  | 86       | 3.356   | 3.323  | 2.744  | 1.802  |
| 53       | 14.036  | 2.168  | 0.750  | 4.340  | 87       | 0.187   | 1.056  | 1.225  | 0.473  |
| 54       | 2.633   | 4.213  | 4.627  | 2.376  | 88       | 0.017   | 1.351  | 1.671  | 1.306  |
| 55       | 1.343   | 3.321  | 3.926  | 0.873  | 89       | 4.135   | 3.601  | 4.163  | 3.956  |
| 56       | 2.488   | 3.730  | 4.392  | 1.956  | 90       | 10.855  | 8.569  | 8.829  | 8.981  |
| 57       | 1.724   | 2.073  | 2.720  | 2.426  | Ave.     | 5.111   | 4.981  | 5.024  | 4.831  |

부록 B. 계절성 ARIMA 모형 차수의 동정

[부록 B-1] 모형설명(평일)

| 모형 설명(평일) | 모형 유형               |
|-----------|---------------------|
| 단거리_구간1   | ARIMA(1,0,5)(0,1,1) |
| 단거리_구간2   | ARIMA(2,0,3)(0,1,1) |
| 단거리_구간3   | ARIMA(2,0,3)(1,0,1) |
| 중거리_구간4   | ARIMA(2,0,4)(0,1,1) |
| 중거리_구간5   | ARIMA(1,0,4)(1,0,1) |
| 장거리_구간6   | ARIMA(2,0,3)(0,1,1) |

[부록 B-2] 모형 통계량(평일)

| 구분      | 예측변수 수 | 모형적합 통계량 | Ljung-Box Q(18) |     |      | 이상값 수 |
|---------|--------|----------|-----------------|-----|------|-------|
|         |        | 정상 $R^2$ | 통계량             | 자유도 | 유의확률 |       |
| 단거리_구간1 | 0      | .886     | 6.600           | 12  | .883 | 0     |
| 단거리_구간2 | 0      | .825     | 18.853          | 12  | .092 | 0     |
| 단거리_구간3 | 0      | .840     | 13.909          | 13  | .380 | 0     |
| 중거리_구간4 | 0      | .895     | 5.984           | 12  | .917 | 0     |
| 중거리_구간5 | 0      | .849     | 9.886           | 12  | .626 | 0     |
| 장거리_구간6 | 0      | .844     | 28.369          | 14  | .013 | 0     |

[부록 B-3] 모형설명(휴일)

| 모형 설명(휴일) | 모형 유형                |
|-----------|----------------------|
| 단거리_구간1   | ARIMA(1,0,12)(2,0,1) |
| 단거리_구간2   | ARIMA(1,0,3)(1,0,1)  |
| 단거리_구간3   | ARIMA(1,0,3)(1,0,1)  |
| 중거리_구간4   | ARIMA(1,0,12)(2,0,1) |
| 중거리_구간5   | ARIMA(1,0,3)(1,0,1)  |
| 장거리_구간6   | ARIMA(1,0,3)(1,0,1)  |

[부록 B-4] 모형 통계량(휴일)

| 구분      | 예측변수 수 | 모형적합 통계량 | Ljung-Box Q(18) |     |      | 이상값 수 |
|---------|--------|----------|-----------------|-----|------|-------|
|         |        | 정상 $R^2$ | 통계량             | 자유도 | 유의확률 |       |
| 단거리_구간1 | 0      | .818     | 19.387          | 11  | .054 | 0     |
| 단거리_구간2 | 0      | .715     | 19.225          | 13  | .116 | 0     |
| 단거리_구간3 | 0      | .674     | 16.005          | 13  | .249 | 0     |
| 중거리_구간4 | 0      | .840     | 7.634           | 10  | .665 | 0     |
| 중거리_구간5 | 0      | .690     | 9.648           | 13  | .722 | 0     |
| 장거리_구간6 | 0      | .823     | 10.285          | 13  | .670 | 0     |

## Abstract

# A Study on Bus Travel Time Estimation Based on Simplified Stochastic Process

An, Suyun

Department of Environmental Planning  
Graduate School of Environmental Studies  
Seoul National University

The kind of information that the bus users expect can be divided into the queue time at the bus stops and the consumed time to destination. The queue time information is provided through Bus Information System(BIS) in real-time basis. However, information regarding the expected time to destination is not provided in real-time. What is usually provided is static information regarding on-peak traffic time. However, with the advent of smartphone in recent years, more customized information is being required. Not only that, the expected traffic time has become a must when planning the travel including transportation method. Thus, this research conducted stochastic prediction of bus traffic time based on its operation hours. The basis for this research is BIS history and stochastic process.

The subject of the research was the upward route of Incheon Blue

Bus #79, and the route was divided into 24 cases incorporating 6 space-based and 4 time-based. Mean Absolute Percentage Error(MAPE) was incorporated to evaluate the accuracy of predicted result and it was compared to the forecast using seasonal ARIMA model, historical average, and provided by web portal sites. The result revealed that the accuracy did not differ much based on the forecast method. In the case of emergency, the error rate of stochastic-based prediction was low since the gap was large between the traffic time observed in heavy rain and holidays and the average of recorded data. Also, it proved to be more appropriate for usage in the area where traffic speed is flexible. This can be seen as overcoming the difficulty in traffic time forecast due to maintaining the punctuality in bus schedule; thus, the forecast result based on the stochastic process can be seen to have secured the fairness in traffic time information for all routes and all time period.

This forecast method is non-parametric method which does not require independent variables. Thus, it has merits such as not having to set variables, develop a model, or renew parameters for forecast. Not only that, it provides even amount of information for all routes which enables easy system application with high accuracy. However, the issues of time lag, impossibility of prediction to the first bus travel time, and the optimal number of records to use for prediction remain as the limitations for this study.

- ◆ **keywords : Bus Travel Time, Stochastic Process,  
Bus Information System, BIS Historical Data**
- ◆ **Student Number : 2012-22043**